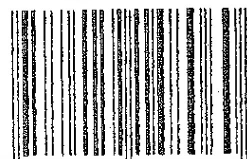


ISBN 84-291-4806-X

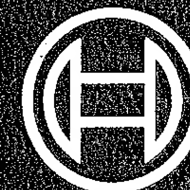
MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL, 3ª ed.



BOSCH



MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL

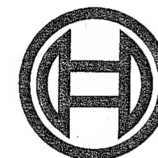


BOSCH

3ª EDICIÓN

EDITORIAL REVERTÉ, S.A.

MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL



BOSCH

3ª EDICIÓN



EDITORIAL REVERTÉ, S.A.
Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México

Título de la obra original:
Kraftfahrzeugtechnisches Taschenbuch, 22. Auflage

Edición original en lengua alemana publicada por:
VDI Verlag GmbH, DÜSSELDORF

Jefe de redacción:
Dipl.-Ing. (FH) Horst Bauer

Redacción:
Ing.(grad.) Arne Cypra,
Dipl.-Ing. (FH) Anton Beer,
Dipl.-Ing. Hans Bauer

Dirección de producción:
Günter Berger

Presentación:
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Adler,
Günter Berger, Joachim Kaiser

Versión española por:
F.E. Wolfgang Schuch
Ingeniero

Revisado por:
José Company Bueno
Capitán de la Marina Mercante

Propiedad de:
EDITORIAL REVERTE, S. A.
Loreto, 13-15, Local B
08029 Barcelona

Material gráfico e informático cedido amablemente por:
Audi AG, Ingolstadt;
Bayerische Motoren Werke (BMW) AG, Munich;
Behr GmbH, Stuttgart;
Brose Fahrzeugteile GmbH & Co.KG, Coburg;
Continental AG, Hannover;
Eberspächer KG, Esslingen;
Filterwerk Mann und Hummel, Ludwigsburg;
Ford-Werke AG, Köln:
Aktiengesellschaft Kühnle, Kopp und Kausch, Frankenthal;
Mannesmann Kienzle GmbH, Villingen-Schwenningen;
Mercedes-Benz AG, Stuttgart;
Pierburg GmbH, Neuss;
RWE Energie AG, Essen;
Volkswagen AG, Wolfsburg;
Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, Friedrichshafen;

Fuente de datos para vehículos:
Automobil Revue Katalog 1995

ISBN: 84-291-4806-X

Depósito legal: B- 20171-1999
Impreso por BIGSA, Industria Gráfica
08930 Sant Adrià del Besós (Barcelona)

Prólogo a la 3ª edición
(22ª edición alemana)

El "Manual de la técnica del automóvil" está pensado para que sea un libro técnico auxiliar condensado y siempre a mano. Pretende proporcionar en forma de obra de consulta, valores fiables y una visión del estado actual de la técnica del automóvil a ingenieros y técnicos de automoción, así como a todos los interesados en esta industria. Con este propósito la técnica sobre turismos y vehículos industriales y de sus materiales se ha limitado al nivel práctico necesario.
No es posible la presentación amplia de temas concretos en el contexto de este libro de bolsillo, pero no quisimos prescindir de los temas y datos generales teniendo en cuenta la diversidad de usuarios.
Les recomendamos hojear el "Manual de la técnica del automóvil" antes de usarlo. Esto les será útil para su posterior empleo. Nuevos temas y actualizaciones se han plasmado en 40 páginas nuevas.
La 3ª edición, al igual que las anteriores, ha sido elaborada y actualizada en su mayor parte por los especialistas de nuestra casa y de otras empresas. A todos los que han participado se les expresa aquí el agradecimiento por su colaboración.

La redacción

Orientación

Respecto a la 21ª edición alemana se ha actualizado o ampliado:
Cálculo de resistencias, acústica
Electrónica
  Microhíbridos, circuitos, placas para circuitos impresos, sensores, activadores
Conocimiento de materiales
  Fundamentos, materiales, lubricantes, carburantes, combustibles
Técnica de uniones
  Remaches de corte
Tribología
Motores de combustión
  Motores alternativos de émbolos
Regulación del motor (motores Otto)
  Bujías, bombas eléctricas de carburante, alimentación de carburante (L-Jetronic), Motronic, Gases de escape, instalaciones de gas licuado
Regulación del motor (motores diesel)
  Bombas axiales/radiales de émbolos, unidad de bomba-inyector, bomba-conducción-inyector, conducto común, inyectores y soportes de inyector, gases de escape, instalaciones de ayuda de arranque
Accionamientos eléctricos
Tren de transmisión
  ASR para turismos y vehículos industriales
Sistemas de frenos
  Fundamentos, subdivisión del circuito de frenado, ABS para turismos, ABS y ELB para vehículos industriales
Tecnología de iluminación
  reflectores, faros PESPLUS, Litronic, luces, bombillas
Dispositivos de alarma antirrobo,
Sistemas de comunicación e información
  autorradio, sistemas de aparcamiento, sistemas de navegación, radiofonía móvil, terminal de información de a bordo,
Sistemas de seguridad
  airbags frontal y lateral
Sistemas de confort
  accionamientos de ventanas y techo, regulaciones de asientos y del volante
Red de a bordo
  esquemas de distribución, alimentación eléctrica, CAN,
Compatibilidad electromagnética
Datos de vehículos

Nuevos temas incorporados:
Regulación de la dinámica de conducción

Temas anulados:
Dirección en las ruedas traseras, Indicación de fallos, calculadora de datos de marcha, sistema de control de neumáticos

Índice analítico

Autores de la 3ª edición[1]

Magnitudes, Unidades
Dipl.-Ing. G. Brüggen
Dipl.-Ing. W. Bazlen†
Oscilaciones
Dipl.-Ing. J. Bohrer
Mecánica
Dipl.-Ing. G. Brüggen
Cálculo de resistencias
Dr.-Ing. M. Bacher-Höchst
Acústica
Dr.rer.nat. W. Keiper
Calor
Dipl.-Ing. W. Daniel

Electrotecnia
Dr.rer.nat. W. Draxler
Dipl.-Ing. B. Wörner
Electrónica
Dr.rer.nat. G. Matthäi;
Dr.rer.nat. P. Egelhaaf;
Dr.rer.nat. U. Goebel,
Dr.rer.nat. R. Schmid; Dr.-Ing. P. Piwonka;
Dr.-Ing. J. Marek; Dipl.-Ing F. Raichle
Sensores
Dr.-Ing. E. Zabler
Actuadores
Dr.-Ing. R. Heinz
Máquinas eléctricas
Dr.-Ing. K. Harms
Óptica técnica
Dr.-Ing. F. Prinzhausen;
Dr.rer.nat. H. Sautter

Matemáticas
Dipl.-Ing. G. Brüggen
Calidad
Dipl.-Ing. M. Graf
Estadística técnica, técnicas de medición
Dipl.-Math. H.-P Bartenschlager
Fiabilidad
Dr.rer.nat. E. Dilger;
Dr.rer.nat. H. Weiler
Procesamiento de datos en el vehículo
Dr.rer.nat. S. Dais
Técnica de regulación y mando
Dipl.-Ing. R. Karrelmeyer

Substancias
Dr.rer.nat. J. Ullmann;

[1] Donde no se indique se trata de colaboradores de Robert Bosch GmbH

Dr.rer.nat. W. Draxer; Dr.-Ing. D. Wicke;
Dipl.-Ing. D. Weidemann, Mercedes-Benz AG, Sindelfingen;
Dr.rer.nat. H.-J. Spranger;
Dr.rer.nat. H. P. Koch; Dipl.-Ing. R. Mayer;
Dipl.-Ing. G. Lindemann;
Dr.rer.nat. K. Müller;
Dipl.-Ing. H. Schneider;
Dr.rer.nat. K. Kinberger, BASF, Münster;
Dieter Herbst, BASF, Münster;
Dr.rer.nat. G. Dornhöfer;
Dr.rer.nat. B. Blaich; Dr.phil.nat. B. Peters
Dureza, tratamiento térmico
Dr.-Ing. D. Liedtke
Corrosión
Dr.rer.nat. M. Schönborn

Tolerancias
Ing. (grad.) Jürgen Pfänder
Cojinetes de fricción y rodamiento
Dr.-Ing. R. Heinz
Muelles
Dipl.-Ing. O. Krickau
Engranajes
Dipl.-Ing. P.-I. Pladek
Transmisiones por correas
C. Hansen

Técnica de atornillado
Dipl.-Ing. O. Krickau;
Dipl.-Ing. M. Nöcker
Técnica de uniones
Dr.-Ing. M. Witt, Volkswagen AG. Wolfsburg

Conformación de chapas
Ing. W. Gertler, Volkswagen AG, Wolfsburg; Dr.-Ing. M. Witt, Volkswagen AG, Wolfsburg

Tribología, desgaste
Dipl.-Ing. H. Schorr

Requisitos de los vehículos de carretera
Dr.-Ing. H. Hiereth, Mercedes-Benz AG Stuttgart; Dipl.-Ing. E. Siegert, Mercedes-Benz AG, Stuttgart

Dinámica de los vehículos
Dipl.-Ing. E. Siegert, Mercedes-Benz AG. Stuttgart;
Prof. Dr.-Ing. habil. E.-C. v. Glasner, Mercedes-Benz AG, Stuttgart;
Dipl.-Ing. H. Geissler, Mercedes-Benz AG, Stuttgart;
Dr.- Ing. H. Steinkampf, Institut für Betriebstechnik der FAL, Braunschweig

Solicitaciones climáticas
Dipl.-Ing. G. Adalbert

Motores de combustión interna
Dr.-Ing. H. Hiereth, Mercedes-Benz AG, Stuttgart

Refrigeración del motor
Dipl.-Ing. S. Jenz, Behr GmbH & Co, Stuttgart;
Dipl.-Ing. H. Martin, Behr GmbH & Co, Stuttgart

Filtros
Dr.-Ing. O. Parr, Filterwerk Mann und Hummel, Ludwigsburg

Cargadores de baterías
Dipl.-Ing. A. Förster, Aktiengesellschaft Kühnle, Kopp und Kausch, Frankenthal

Conducciones gases de escape
Dipl.-Ing. W. Steinle, Eberspächer KG, Esslingen

Mando del motor en motores Otto
Dr.rer.nat. H. Schwarz;
Dipl.-Ing. G. Felger;
Dipl.-Ing. M. Lembke;
Dr.rer.nat. W. Huber;
Ing. (grad.) L. Seebald;
Dipl.-Ing. (FH) U. Steinbrenner;
Dr.-Ing. W. Richter,
Dipl.-Ing. A. Gerhard

Carburadores
Dr.-Ing. D. Grossmann, Pierburg GmbH, Neuss

Sistemas de inyección de gasolina
Dipl.-Ing. G. Felger;
Dipl.-Ing. M. Lembke;
Ing. (grad.) L. Seebald;
Dipl.-Ing. H. Deichsel

Encendido
Dipl.-Ing. R. Schleupen;
Dipl.-Ing. D. Betz;
Dr. rer nat. A. Niegel

Sistemas de mando de motor integrados Motronic
Dipl.-Ing. (FH) U. Steinbrenner;
Dipl.-Ing. O. Glöckler;
Dipl.-Ing. (FH) M. Mezger;
Dr.-Ing. N. Benninger

Gases de escape motores Otto
Dipl.-Ing. O. Glöckler; Dr.-Ing. G. König;
Dipl.-Ing. J. Lange;
Dipl.-Ing. E. Schnaibel

Motores Otto para carburantes alternativos
J. van der Weide, TNO Road-Vehicles Research Institute, Delft, Países Bajos;
Ing. (grad.) L. Seebald; Dipl.-Ing. E. Schnaibel

Mando de motor motores diesel
Dr.-Ing. W. Polach; Dipl.-Ing. K. Hummel;
Dipl.-Ing. U. Flaig; Dr.-Ing. B. Bonse;
Dr.-Ing. techn. A. Egger;
Dipl.-Ing. W. Albrecht; Ing. (grad.) J. Warga

Instalaciones auxiliares de arranque
Dipl.-Ing. (FH) W. Teschner;
Dr.rer.nat. H.-P. Bauer

Gases de escape motores diesel
Dr.-Ing. W. Polach

Equipo de arranque
Dr.-Ing. T. Heiter

Accionamientos eléctricos
Dr.-Ing. B. Sporckmann, RWE Energie AG, Essen;
Dipl.-Ing. E. Zander, RWE Energie AG, Essen

Accionamientos híbridos
Dr.-Ing. C. Bader, Mercedes-Benz AG, Stuttgart

Tren de accionamiento
Dipl.-Ing. M. Kirschner, Bayerische Motoren Werke AG, München;
Dipl.-Ing. W. Kröger, Bayerische Motoren Werke AG, München;
Dipl.-Ing. P. Köpf, Zahnradfabrik Friedrichshafen AG;
Dr.rer.nat. M. Schwab, Zahnradfabrik Friedrichshafen AG;
Dr.-Ing. G. Schmidt; Dr.-Ing. H. Schramm

Dirección
Ing. (grad.) D. Elser, Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, Schwäbisch Gmünd;
Dipl.-Ing. (FH) W. Rieger, Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, Schwäbisch Gmünd

Suspensión, suspensión de las ruedas
Dipl.-Ing. R Dick, Bayerische Motoren Werke AG, München;
Dipl.-Ing. A. Mrotzek, Bayerische Motoren Werke AG, München;
Dipl.-Ing. J. Wimberger, Bayerische Motoren Werke AG, München

Ruedas
Dipl.-Ing. R. Braun, Mercedes-Benz AG, Stuttgart;
Prof. Dr.-Ing. habil. E.-C. v. Glasner, Mercedes-Benz AG, Stuttgart

Neumáticos
Dipl.-Ing. B. Meiss, Continental AG, Hannover;
Prof. Dr.-Ing. habil. E.-C. v. Glasner, Mercedes-Benz AG, Stuttgart

Sistemas de frenos
Dr.rer.nat. J. Bräuninger.
Prof. Dr.-Ing. habil. E.-C. v. Glasner, Mercedes-Benz AG, Stuttgart;
Dipl.-Ing. W. Kruse, Mercedes-Benz AG, Stuttgart;
Dr.-Ing. G. Schmidt;
Dipl.-Ing. W. Brühmann;
Dipl.-Ing. W. Stumpe;
Dr.-Ing. H. Schramm

Regulación de la dinámica de conducción
Dr.-Ing. A. van Zanten;
Dipl.-Ing. G. Pfaff; Dr. R. Erhardt

Sistemática de los vehículos de carretera
Dipl.-Ing. D. Weidemann, Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

Estructura del vehículo turismo
Dipl.-Ing. D. Weidemann, Mercedes-Benz AG. Sindelfingen

Estructura del vehículo industrial
Dipl.-Ing. H. Geissler, Mercedes-Benz AG,Stuttgart

Luminotecnia
Dr.phil.nat. R. Neumann;
Dipl.-Ing. B. Wörner

Instalaciones de señales y de alarma
Ing. (grad.) W. Hofer;
Dipl.-Ing. M. Thürsam

Limpieza de cristales
Dr.-Ing. J.-G. Dietrich

Calefacción y climatización
Dr.-Ing. K. Molt, Behr GmbH & Co, Stuttgart;
Dipl.-Ing. G. Schweizer, Behr GmbH & Co, Stuttgart

Autorradio
Dr. J. Siedler; V. Lauke, Blaupunkt-Werke, Hildesheim

Sistemas para aparcar
Ing. (grad.) D. Meyer

Registrador de viaje
Mannesmann Kienzle GmbH, PR-Abteilung, Villingen-Schwenningen

Sistemas de navegación
Dipl.-Ing. E. P. Neukirchner

Radiofonía móvil
Dr.-Ing. J Wazeck

Terminal de información de a bordo (BIT)
Dr.rer.nat. D. Elke

Sistemas de seguridad
Dipl.-Ing. B. Mattes

Sistemas de confort
Dipl.-Ing. (FH) W. Spiess;
Dr.-Ing. G. Hartz

Hidráulica del vehículo
Ing. (grad.) W. Dworak;
Dipl.-Ing. K. Griese; Dipl.-Ing. D. Bertsch;
Dipl.-Ing. W. Kötter; Dipl.-Ing. H. Lödige;
Dipl.-Ing. M. Bing; Ing. (grad.) H. Walter

Neumática del vehículo
Ing. (grad.) P. Berg

Símbolos de conexión, cálculo de líneas
Dipl.-Ing. (FH) H. Bauer

Suministro de energía eléctrica
Dipl.-Ing. F. Meyer

Batería de arranque, cargadores de batería
Dr.-Ing. O. Richter;
Ing. (grad) T. Meyer-Staufenbiel

Alternador
Dr.-Ing. K. O. Bürger

Red controladora de área (CAN)
Dr.-Ing. K. H. Kaiser

Compatibilidad electromagnética (EMV)
Dr.-Ing. W. Pfaff

Técnica de comprobación
Dipl.-Ing. W. Hummel

Datos de los vehículos
R. Helfer

Legislación del tráfico
Dipl.-Ing. K. Haffner, Technischer Überwachungs-Verein Südwest, Filderstadt

Magnitudes y unidades

Unidades SI

SI significa "Système International d'unités" (Sistema Internacional de unidades). El sistema viene especificado en ISO 31 e ISO 1000 (ISO: International Organization for Standardization) y en DIN 1301 (DIN: Deutsches Institut für Normung).

Las unidades SI comprenden siete unidades básicas SI y las derivadas de ellas, es decir, las unidades que se derivan con el coeficiente 1.

Unidades básicas SI

Magnitud básica		Unidad básica SI	
		Nombre	Símbolo
Longitud	l	Metro	m
Masa	m	Kilogramo	kg
Tiempo	t	Segundo	s
Intensidad eléctrica		Ampere	A
Temperatura termodinámica	T	Kelvin	K
Cantidad de materia	n	Mol	mol
Intensidad de luz	I	Candela	cd

De las magnitudes y unidades básicas se derivan todas las demás magnitudes y unidades. Así, la unidad internacional de fuerza se obtiene aplicando en la ley de Newton las unidades básicas correspondientes:

Fuerza = Masa × Aceleración

$F = m \times a$

$m = 1$ kg y $a = 1$ m/s², de donde resulta

$F = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1 \text{ N}$ (Newton)

Definiciones de las unidades básicas SI

1 metro es la longitud del trayecto que recorre la luz en el vacío durante un tiempo de 1/299 972 458 segundos. 17ª CGPM, 1983[1]. El metro se define con ello por medio de la velocidad de la luz en el vacío, c = 299 972 458 m/s; ya no se define por la longitud de onda de la radiación del átomo de criptón ^{86}Kr. Antiguamente se definía el metro como la millonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre que pasa por París (metro patrón, París, 1875).

1 kilogramo es la masa del patrón internacional del kilogramo. 1ª CGPM, 1889 y 3ª CGPM, 1901[1].

1 segundo es 9 192 631 770 veces la duración del período de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 (^{133}Cs), 13ª CGPM, 1967[1].

1 ampere es la intensidad de una corriente eléctrica constante que manteniendo dos conductores rectilíneos, paralelos de longitud infinita, de sección circular despreciable y colocados a una distancia de un metro el uno del otro, en el vacío, produce una fuerza entre estos conductores igual a 2×10^{-7} N, por cada metro de longitud. 9ª CGPM, 1948[1].

1 kelvin es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple[2] del agua. 1ª CGPM, 1967[1].

1 mol es la cantidad de substancia de un sistema, que se compone de la misma cantidad de entidades elementales como átomos hay en 12/1000 kilogramos de carbono 12 (^{12}C). Al utilizar el mol debe especificarse qué entidades elementales se emplean, que pueden ser: átomos, moléculas, iones, electrones, así como partículas o agrupamientos de tales partículas de composición exactamente conocida. 14ª CGPM, 1967[1].

1 candela se define como la intensidad luminosa en una dirección determinada de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es 1/683 Wsr^{-1}p. 16 CGPM, 1967[1].

Submúltiplos y múltiplos decimales de las unidades SI

Los submúltiplos y múltiplos decimales de las unidades SI se indican mediante prefijos o símbolos unidos al nombre de la unidad, sin separación, y forman con ésta una unidad propia, por ejemplo: miligramo (mg). No pueden utilizarse prefijos compuestos, como por ejemplo, microkilogramo (µkg).

En las unidades angulares, grado, minuto y segundo; las de tiempo, minuto, hora, día y año; y la de temperatura, grado Celsius, no se utiliza ningún prefijo.

Prefijo	Símbolo del prefijo	Potencia de diez	Nombre
Atto	a	10^{-18}	Trillonésima
Femto	f	10^{-15}	Milbillonésima
Pico	p	10^{-12}	Billonésima
Nano	n	10^{-9}	Milmillonésima
Micro	µ	10^{-6}	Millonésima
Mili	m	10^{-3}	Milésima
Centi	c	10^{-2}	Centésima
Deci	d	10^{-1}	Décima
Deca	da	10^{1}	Diez veces
Hecto	h	10^{2}	Cien veces
Kilo	k	10^{3}	Mil veces
Mega	M	10^{6}	Un millión de veces
Giga	G	10^{9}	Mil mill. de veces[1]
Tera	T	10^{12}	Un billón de veces[1]
Peta	P	10^{15}	Mil billones de veces
Exa	E	10^{18}	Un trillón de veces

[1] Conferencia General de Pesos y Medidas (Conférence Génerale des Poids et Mesures).
[2] Punto fijo de la escala internacional de temperatura. El punto triple es el único estado en que coexisten en equilibrio las tres fases de agregación (sólida, líquida y gaseosa), (a 1013,25 hPa). Se encuentra en 273,15 K, 0,01 K por encima del punto de congelación del agua (273,15 K).

Unidades legales

La ley de unidades y medidas del 2 de julio 1969 y el decreto de entrada en vigor en Alemania Federal del 26 de junio de 1970 estipulan que en la RFA, para las relaciones comerciales y estatales se utilicen las "unidades legales".

Las unidades legales son:

- Las unidades SI.
- Los submúltiplos y los múltiplos decimales de las unidades SI.
- Para otras unidades permitidas, véase el resumen en las páginas siguientes.

En el Manual de la Técnica del Automóvil de Bosch se utilizarán las unidades legales. Hasta tanto sea necesario, en algunos capítulos se dan adicionalmente (entre paréntesis) los valores en unidades del Sistema Técnico de Medidas.

[1] En los EE.UU.: 10^9 = 1 billion; 10^{12} = 1 trillion.

Sistemas de unidades que ya no se utilizan

Sistema Físico de Medidas

El Sistema Físico de Medidas empleaba, al igual que el SI, las magnitudes básicas longitud, masa y tiempo, pero utilizaba en cambio las unidades básicas centímetro (cm), gramo (g) y segundo (s) (Sistema CGS).

Sistema Técnico de Medidas

El Sistema Técnico de Medidas empleaba las siguientes magnitudes y unidades básicas:

Magnitud básica	Unidad básica Nombre	Símbolo
Longitud	Metro	m
Fuerza	Kilopondio	kp
Tiempo	Segundo	s

La relación entre el Sistema Internacional de Unidades y el Sistema Técnico de Medidas la configura la ley de Newton.

$F = m \cdot a$,

substituyendo F por el peso G, y a por la aceleración de la gravedad g.

La aceleración de la gravedad y con ello el peso son, a diferencia de la masa, dependientes del lugar. Como valor normal de la aceleración de la gravedad (Gravedad normalizada) se ha fijado g = 9,80665 m/s² (DIN 1305). Para los cálculos técnicos basta casi siempre con el valor aproximado:

$g = 9{,}81$ m/s²

1 kp es la fuerza con la que una masa de 1 kg, en un lugar de la Tierra, presiona sobre la base en que se apoya. De

$G = m \cdot g$

tenemos pues

$1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9{,}81 \text{ m/s}^2 = 9{,}81 \text{ N}$

Magnitudes y Unidades

Resumen (de DIN 1301)

Las tablas siguientes son un resumen de las magnitudes físicas más importantes con los símbolos de las fórmulas normalizadas y una selección de las unidades legales fijadas para esas magnitudes. Se pueden formar otras unidades legales mediante prefijos (pág. 11). En la columna "otras unidades" se han introducido por eso únicamente los múltiplos decimales de las unidades SI que tienen nombres propios. Las unidades que ya no se emplean y su conversión se presentan en la última columna. Los números de páginas entre paréntesis son los de las tablas de conversión pertinentes.

Magnitud y Símbolo		Unidades legales SI	Otras	Nombre	Relación	Unidades que ya no se utilizan y su conversión
1. Longitud, superficie, volumen (páginas 17 a 23)						
Longitud	l	m		Metro		$1\,\mu$ (micra) = $1\,\mu m$ 1 Å (Ångström) = 10^{-10} m 1 × E Unidad X o siegbahn ≈ 10^{-13} m 1 p (punto tipográfico) = 0,376
			mm	Milla marina	1 mm = 1852 m	
Superficie	A	m^2		Metro cuadrado		
			a	Área	1 a = 100 m^2	
			ha	Hectárea	1 ha = 100 a = 10^4 m^2	
Volumen	V	m^3		Metro cúbico		
			l	Litro	1 l = 1 dm^3	
2. Ángulo (página 22)						
Ángulo (plano)	α, β etc.	rad[1]		Radián	$1\,\text{rad} = \frac{1\,\text{m de arco}}{1\,\text{m de radio}}$	1 ∟ (Ángulo recto) = 90° = (π/2) rad = 100 gon 1^g (grado nuevo) = 1 gon 1^c (minuto nuevo) = 1cgon 1^{cc} (segundo nuevo) = 0,1 mgon
			°	Grado	1 rad = 180°/π = 57,296° ≈ 57,3 ° 1° = 0,017453 rad 1° = 60′ = 3600 ″ 1 gon = (π/200) rad	
			′	Minuto		
			″	Segundo		
			gon	Gon		
Ángulo sólido	Ω	sr		Estereorradián	$1\,\text{sr} = \frac{1\,\text{m}^2\text{ de superf. efér.}}{\text{Radio esfér. }(1\,\text{m})^2}$	
3. Masa (páginas 24 a 27)						
Masa (Peso)[2]	m	kg		Kilogramo		1 γ (gamma) = 1 μg 1 dz (Quintal doble) = 100 kg
			g	Gramo		
			t	Tonelada	1 t = 1 Mg = 10^3 kg	
			Kt	Quilate métrico	1 Kt = 0,2 g	

(1) La unidad radián (pág. 22) puede substituirse por el número 1 en los cálculos.
(2) El concepto peso tiene doble significado en uso vulgar, pues se utiliza tanto para designar la masa como la fuerza del peso (DIN 1305).

Magnitud y Símbolo		Unidades legales SI	Otras	Nombre	Relación	Unidades que ya no se utilizan y su conversión
Densidad	ρ	kg/m^3			1 kg/dm^3 = 1 kg/l = 1 g/cm^3 = 100 kg/m^3	Peso específ. γ (kp/dm^3 o p/cm^3) Conversión: El valor numérico del peso específ. en kp/dm^3 es igual al valor numérico de la densidad en kg/dm^3.
			$\frac{kg}{dm^3}$			
			kg/l			
			g/cm^3			
Momento de inercia (momento de masa de 2° grado)	J	kg · m^2			$J = m \cdot i^2$ i = radio de inercia	Momento de inercia (del rotor) $G \cdot D^2$. Conversión: Valor numér. de $G \cdot D^2$ en kp · m^2 = 4 x valor num. de J en kg · m^2
4. Magnitudes de tiempo (páginas 35 a 37)						
Tiempo, duración, intervalo de tiempo	t	s		Segundo[1]		
			min	Minuto[1]	1 min = 60 s	
			h	Hora[1]	1 h = 60 min	
			d	Día	1 d = 24 h	
			a	Año	1 a = 365 d = 8760 h	
Frecuencia	f	Hz		Hertz	1 Hz = 1/s	
Número de revoluciones (frecuencia de rotación)	n	s^{-1}			1 s^{-1} = 1/s	rpm (Revoluciones por minuto), siguen admitidas para datos de número de revoluciones, pero es mejor substituirlas por min^{-1} (1 rpm = 1 min^{-1}).
			min^{-1} 1/min		1 min^{-1} = 1/min = (1/60) s^{-1}	
Frecuencia angular $\omega = 2\pi f$	ω	s^{-1}				
Velocidad (celeridad)	v	m/s	km/h		1km/h = (1/3,6) m/s	
			kn	Nudo	1 kn = 1 sm/h = 1,852km/h	
Aceleración	a	m/s^2			Aceleración de la gravedad, g (v. pág. 11)	
Velocidad angular	ω	rad/s[2]				
Aceleración angular	α	rad/s^2[2]				
5. Fuerza, energía, potencia (páginas 28 a 31)						
Fuerza Fuerza del peso	F G	N N		Newton	1 N = 1 kg · m/s^2	1 p (pondio) = 9,80665 mN 1 kp (kilopondio) = 9,80665 N ≈ 10 N 1 dina (dina) = 10^{-5} N

(1) Horas del reloj: h, m, s en alto. Ejemplo 3^h, 25^m, 6^s.
(2) La unidad rad puede substituirse en los cálculos por el número 1.

Magnitud y Símbolo	Unidades legales SI	Otras	Nombre	Relación	Unidades que ya no se utilizan y su conversión
Presión, en general p Presión absoluta p_{abs} Presión atmosférica p_{amb} Presión efectiva p_e $p_e = p_{abs} - p_{amb}$	Pa		Pascal	1 Pa = 1 N/m²	1 at (atm. técnica) = 1 kp/cm² = 0,980665 bar ≈ 1 bar 1 atm (atm. física) = 1,01325 bar[1] 1 mm H_2O (columna de agua) = 1 kp/m² = 0,0980665 hPa ≈ 0,1 hPa 1 torr = 1 mm Hg (columna de mercurio) = 1,33322 hPa 1 dina/cm² = 1 mbar
		bar	Bar	1 bar = 10^5 Pa = 10 N/cm² 1 µbar = 0,1 Pa 1 mbar = 1 hPa	
	La presión efectiva, etc. no se indica por símbolos de unidades; únicamente se emplea su símbolo formulario. La presión negativa se da como presión efectiva negativa. Ejemplos p_e = 2,94 bar ≈ 3 bar p_{abs} = 9,81 bar ≈ 10 bar p_e = −0,39 bar ≈ −0,4 bar				
Tensión mecánica σ, τ	N/m²			1 N/m² = 1 Pa	1 kp/mm² = 9,81 N/mm² ≈ 10 N/mm² 1 kp/cm² ≈ 0,1 N/mm²
		N/mm²		1 N/mm² = 1 MPa	
Dureza (pág 248)	Como unidad para la dureza Brinell y Vickers ya no se emplea el kp/mm². En vez de ello se pone como unidad detrás del hasta ahora valor numérico el símbolo abreviado de la dureza correspondiente (si es necesario, con indicación de la fuerza del ensayo, etc.)				Ejemplos: Anteriormente — Ahora HB = 350 kp/mm² — 350 HB HV 30 = 720 kp/mm² — 720 HV30 HRC = 60 — 60 HRC
Energía, Trabajo E, W	J		Joule	1 J = 1 N · m = 1 W · s = 1 kg · m²/s²	1 kp · m (kilopondímetro) = 9,81 J ≈ 10 J 1 PS · h (caballo-hora) = 0,7355 kW · h ≈ 0,74 kW · h 1 erg (ergio) = 10^{-7} J 1 kcal (kilocaloría) = 4,1868 kJ ≈ 4,2 kJ 1 cal (caloría) = 4,1868 J ≈ 4,2 J
Calor, Cantidad de calor Q (págs. 30, 31)	W · s		Watt-segundo		
		kW · h	Kilowatt-hora	1 kW · h = 3,6 MJ	
		eV	Electronvolt	1 eV = 1,60219 · 10^{-19} J	
Momento de giro (par) M	N · m		Newton-metro		1 kp · m (kilopondímetro) = 9,81 N · m ≈ 10 N · m
Potencia P Flujo calorífico Q (págs. 30, 31) ϕ	W		watt	1 W = 1 J/s = 1 N · m/s	1 kp · m/s = 9,81 W ≈ 10 W 1 PS (caballo de vapor) = 0,7355 kW ≈ 0,74 kW 1 kcal/s = 4,1868 kW ≈ 4,2 kW 1 kcal/h = 1,163 W

6. Magnitudes viscosimétricas (página 34)

Magnitud y Símbolo	SI	Otras	Nombre	Relación	Unidades que ya no se utilizan y su conversión
Viscosidad dinámica η	Pa · s		Pascal-segundo	1 Pa · s = 1 N · s/m² = 1kg/(s · m)	1 P (poise) = 0,1 Pa · s 1 cP (Centipoise) = 1 mPa · s
Viscosidad cinemática ν	m²/s			1 m2/s = 1 Pa · s (kg/m³)	1 St (stokes) = 10^{-4}m²/s = 1 cm²/s 1 cSt (centistokes) 1 mm²/s

[1] 1, 01325 bar = 1013,25 hPa = 760 mm de columna de mercurio es el valor normalizado de la presión atmosférica.

Magnitud y Símbolo	Unidades legales SI	Otras	Nombre	Relación	Unidades que ya no se utilizan y su conversión
7. Temperatura y calor (páginas 32 y 33)					
Temperatura T	K		Kelvin	$t = (T - 273{,}15\ \text{K})\frac{°\text{C}}{\text{K}}$	
t		°C	Grado Celsius		
Diferencia de temper. ΔT	K		Kelvin	1 K = 1 °C	
Δt		°C	Grado Celsius		
	Las diferencias de temperatura en el caso de unidades compuestas hay que darlas en K, por ejemplo, kJ/(m·h·k). La forma de escribir los datos de tolerancias para temperaturas Celsius es, t = (40 ± 2) °C, o t = 40 °C ± 2 °C, o t = 40 °C ± 2 k				
Cantidad de calor y flujo calorífico en el número 5.					
Capacidad calorífica específica (Calor específico) c	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$				1 kcal/(kg · grd) = 4,187 kJ/(kg · K) ≈ 4,2 kJ/(kg · K)
Conductibilidad térmica λ	$\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$		1 W/(m · K) = 3,6 kJ/(m · h · K)	1 kcal/(m · h · grd) = 1,163 W/(m · K) ≈ 1,2 W/(m · K) 1 cal/(cm · s · grd) = 4,187 W/(cm · K)
8. Magnitudes eléctricas (página 70)					
Intensidad de corriente eléctrica I	A		Ampere		
Tensión eléctrica U	V		Volt	1 V = 1 W/A	
Conductibilidad eléctrica G	S		Siemens	1 S = 1 A/V = 1/Ω	
Resistencia eléctrica R	Ω		Ohm	1 Ω = 1/S = 1V/A	
Cantidad de electricidad Q	C		Coulomb	1 C = 1 A · s	
		A · h	Ampere-hora	1 A · h = 3600 C	
Capacidad eléctrica C	F		Farad	1 F = 1 C/V	
Densidad de flujo eléctrico, desplazamiento D	C/m²				
Intensidad de campo eléctrico E	V/m				

Magnitud y Símbolo		Unidades legales SI	Otras	Nombre	Relación	Unidades que ya no se utilizan y su conversión
9. Magnitudes magnéticas (página 70)						
Flujo magnético	ϕ	Wb		Weber	1 Wb = 1 V · s	1 M (Maxwell) = 10^{-8}Wb
Densidad de flujo magnético, inducción	B	T		Tesla	1 T = 1 Wb/m^2	1 G (Gauss) = 10^{-4}T
Inductancia	L	H		Henry	1 H = 1 Wb/A	
Intensidad de campo magnético	H	A/m			1 A/m = 1 N/Wb	1 Oe (Oersted) = $10^3/(4\pi)$A/m = 79,58 A/m
10. Magnitudes técnicas de iluminación (página 135)						
Intensidad luminosa	I	cd		Candela		
Luminancia	L	cd/m^2				1 sb (Stilbert) = 10^4 cd/m^2 1 asb (apostilb.) = $1/\pi$ cd/m^2
Flujo luminoso	ϕ	lm		Lumen	1 lm = 1 cd · sr (sr = estereorradián)	
Iluminancia	E	lx		Lux	1 lx = 1 lm/m^2	
11. Magnitudes de física atómica y otras						
Energía	W		eV	Electronvolt	1 eV = 1,60219 · 10^{-19} J 1 MeV = 10^6 eV	
Radiactividad de una sustancia radiactiva	A	Bq		Becquerel	1 Bq = 1 s^{-1}	1 Ci (Curie) = 3,7 · 10^{10} s^{-1}
Dosis absorbida	D	Gy		Gray	1 Gy = 1 J/kg	1 rd (Rad) = 10^{-2} J/kg 1 rem (Rem)(1) = 10^{-2} J/kg
Dosis equivelante	Dq	Sv		Sievert	1 Sv = 1 J/kg	1 rem (Rem) = 10^{-2} Sv
Coeficiente de dosis absorbida	$\dot{D}$				1 Gy/s = 1 W/kg	
Radiación ionizante	J	C/kg				1 R (Röntgen) = 258 · 10^{-6} C/kg
Coeficiente de radiación ionizante	j	A/kg				
Cantidad de materia	n	mol		Mol		

Bibliografía de las págs. 10 a 16
DIN 1301: Unidades, partes 1 a 3, febrero 1978, DIN 1304: Símbolos generales, febrero 1978.
Haeder, W., Gärtner, E.: Die gesetzlichen Einheiten in der Technik, 5ª edición, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlín, 1980. Beuth-Verlag GmbH.

Tablas de conversión

Unidades de longitud

Para los números en negritas ver las tablas de conversión en páginas 18 y 19.
Para conversiones de velocidad, ver la tabla de la página 36.

Unidad		X.E.	pm	Å	nm	µm	mm	cm	dm	m	km
1 X.E.	≈	1	10^{-1}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	–
1 pm	=	10	1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	–
1 Å	=	10^3	10^2	1	10^{-1}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	–
1 nm	=	10^4	10^3	10	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-12}
1 µm	=	10^7	10^6	10^4	10^3	1	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-9}
1 mm	=	10^{10}	10^9	10^7	10^6	10^3	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}
1 cm	=	10^{11}	10^{10}	10^8	10^7	10^4	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}
1 dm	=	10^{12}	10^{11}	10^9	10^8	10^5	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-4}
1 m	=	–	10^{12}	10^{10}	10^9	10^6	10^3	10^2	10	1	10^{-3}
1 km	=	–	–	–	10^{12}	10^9	10^6	10^5	10^4	10^3	1

X.E. (Unidad X) y Å (Angström) ya no hay que utilizarlas

Unidad		in	ft	yd	milla t.	milla m.	mm	m	km
1 in	=	1	0,08333	0,02778	–	–	**25,4**	**0,0254**	–
1 ft	=	12	1	0,33333	–	–	304,8	**0,3048**	–
1 yd	=	36	3	1	–	–	914,4	**0,9144**	–
1 milla t.	=	63 360	5280	1760	1	0,86898	–	1609,34	**1,609**
1 milla m.(1)	=	72 913	6076,1	2025,4	1,1508	1	–	1852	**1,852**
1 mm	=	**0,03937**	3,281 · 10^{-3}	1,094 · 10^{-3}	–	–	1	0,001	10^{-6}
1 m	=	39,3701	**3,2808**	**1,0936**	–	–	1000	1	0,001
1 km	=	39 370	3280,8	1093,6	**0,62137**	**0,53996**	10^6	1000	1

in = inch = pulgada, ft = foot = pie; yd = yard = yarda, milla t. = milla terrestre, milla m. = milla marina o náutica

Otras unidades angloamericanas
1 µin (micropulgada) = 0,0254 mm
1 mil (milipulgada) = 0,0254 mm
1 link (eslabón) = 201,17 mm
1 rod (vara) = 1 pole = 1 perch = 5,5 yd = 5,0292 m
1 chain (cadena) = 22 yd = 20,1168 m (=100 eslabones)
1 furlong (estadio) = 220 yd = 201,168 m (=1/8 milla t.)
1 fathom (braza) = 2 yd = 1,8288 m

Unidades astronómicas
1 año luz
= 9,46053 · 10^{15} m (distancia recorrida por las ondas electromagnéticas en un año)
1 UA (unidad astronómica)
= 1,496 · 10^{11} m (distancia media Tierra-Sol)
1 pc (parsec, paralaje segundo)
= 206265 UA = 3,0857 x 10^{16} m
(Distancia desde la cual se ve la UA bajo un ángulo de 1 segundo)

En desuso
1 línea (industria relojera) = 2,256 mm
1 p (punto tipográfico) = 0,376 mm
1 milla terrestre alemana = 7500 m
1 legua geográfica de 15 al grado = 7420,4 m
(≈ 4 minutos de arco de Ecuador)

(1) 1 milla marina internacional ≈ arco de 1 minuto de grado. 1 nudo = 1 milla m./h = 1,852 km/h.

Unidades de longitud

	Conversión de								
	in en m	ft en m	yd en m	milla en km	milla m. en km	m en ft	m en yd	km en milla	km en m.m.
1,0	0,0254	0,305	0,914	1,609	1,852	3,281	1,094	0,621	0,540
1,1	0,0279	0,335	1,006	1,770	2,037	3,609	1,203	0,684	0,594
1,2	0,0305	0,366	1,097	1,931	2,222	3,937	1,312	0,746	0,648
1,3	0,0330	0,396	1,189	2,092	2,408	4,265	1,422	0,808	0,702
1,4	0,0356	0,427	1,280	2,253	2,593	4,593	1,531	0,870	0,756
1,5	0,0381	0,457	1,372	2,413	2,778	4,921	1,640	0,932	0,810
1,6	0,0406	0,488	1,463	2,574	2,963	5,249	1,750	0,994	0,864
1,7	0,0432	0,518	1,554	2,735	3,148	5,577	1,859	1,06	0,918
1,8	0,0457	0,549	1,646	2,896	3,334	5,905	1,968	1,12	0,972
1,9	0,0483	0,579	1,737	3,057	3,519	6,234	2,078	1,18	1,03
2,0	0,0508	0,610	1,829	3,218	3,704	6,562	2,187	1,24	1,08
2,1	0,0533	0,640	1,920	3,379	3,889	6,890	2,297	1,30	1,13
2,2	0,0559	0,671	2,012	3,540	4,074	7,218	2,406	1,37	1,19
2,3	0,0584	0,701	2,103	3,701	4,260	7,546	2,515	1,43	1,24
2,4	0,0610	0,732	2,195	3,862	4,445	7,874	2,625	1,49	1,30
2,5	0,0635	0,762	2,286	4,022	4,630	8,202	2,734	1,55	1,35
2,6	0,0660	0,792	2,377	1,183	4,815	8,530	2,843	1,62	1,40
2,7	0,0686	0,823	2,469	4,344	5,000	8,858	2,953	1,68	1,46
2,8	0,0711	0,853	2,560	4,505	5,186	9,186	3,062	1,74	1,51
2,9	0,0737	0,884	2,652	4,666	5,371	9,514	3,171	1,80	1,57
3,0	0,0762	0,914	2,743	4,827	5,556	9,842	3,281	1,86	1,62
3,2	0,0813	0,975	2,926	5,149	5,926	10,50	3,500	1,99	1,73
3,4	0,0864	1,036	3,109	5,471	6,297	11,15	3,718	2,11	1,84
3,6	0,0914	1,097	3,292	5,792	6,667	11,81	3,937	2,24	1,94
3,8	0,0965	1,158	3,475	6,114	7,038	12,47	4,156	2,36	2,05
4,0	0,1016	1,219	3,658	6,436	7,408	13,12	4,374	2,49	2,16
4,2	0,1067	1,280	3,840	6,758	7,778	13,78	4,593	2,61	2,27
4,4	0,1118	1,341	4,023	7,080	8,149	14,44	4,812	2,73	2,38
4,6	0,1168	1,402	4,206	7,401	8,519	15,09	5,031	2,86	2,48
4,8	0,1219	1,463	4,389	7,723	8,890	15,75	5,249	2,98	2,59
5,0	0,1270	1,524	4,572	8,045	9,260	16,40	5,468	3,11	2,70
5,2	0,1321	1,585	4,755	8,367	9,630	17,06	6,687	3,23	2,81
5,4	0,1372	1,646	4,938	8,689	10,00	17,72	5,905	3,36	2,92
5,6	0,1422	1,707	5,121	9,010	10,37	18,37	6,124	3,48	3,02
5,8	0,1473	1,768	5,304	9,332	10,74	19,03	6,343	3,60	3,13
6,0	0,1524	1,829	5,486	9,654	11,11	19,68	6,562	3,73	3,24
6,2	0,1575	1,890	5,669	9,976	11,48	20,34	6,780	3,85	3,35
6,4	0,1626	1,951	5,852	10,30	11,85	21,00	6,999	3,98	3,46
6,6	0,1676	2,012	6,035	10,62	12,22	21,65	7,218	4,10	3,56
6,8	0,1727	2,073	6,218	10,94	12,59	22,31	7,436	4,23	3,67
7,0	0,1778	2,134	6,401	11,26	12,96	22,97	7,655	4,35	3,78
7,5	0,1905	2,286	6,858	12,07	13,89	24,61	8,202	4,66	4,05
8,0	0,2032	2,438	7,315	12,87	14,82	26,25	8,749	4,97	4,32
8,5	0,2159	2,591	7,772	13,68	15,74	27,89	9,296	5,28	4,59
9,0	0,2236	2,743	8,230	14,48	16,67	29,53	9,842	5,59	4,86
9,5	0,2413	2,896	8,687	15,29	17,59	31,17	10,39	5,90	5,13

Ejemplos: 1 ft = 0,305 m; 7,5 yd = 6,858 m

Pulgadas - milímetros

Basado en la igualdad 1 pulgada 25,4 mm

Pulgadas		0	1	2	3
	–	–	25,40	50,80	76,20
1/64	0,015 625	0,397	25,80	51,20	76,60
1/32	0,031 25	0,794	26,19	51,59	76,99
3/64	0,046 875	1,191	26,59	51,99	77,39
1/16	0,062 5	1,588	26,99	52,39	77,79
5/64	0,078 125	1,984	27,38	52,78	78,18
3/32	0,093 75	2,381	27,78	53,18	78,58
7/64	0,109 375	2,778	28,18	53,58	78,98
1/8	0,125	3,175	28,58	53,98	79,38
9/64	1,140 625	3,572	28,97	54,37	79,77
5/32	0,156 25	3,969	29,37	54,77	80,17
11/64	0,171 875	4,366	29,77	55,17	80,57
3/16	0,187 5	4,763	30,16	55,56	80,96
13/64	0,203 125	5,159	30,56	55,96	81,36
7/32	0,218 75	5,556	30,96	56,36	81,76
15/64	0,234 375	5,953	31,35	56,75	82,15
1/4	0,25	6,350	31,75	57,15	82,55
17/64	0,265 625	6,747	32,15	57,55	82,95
9/32	0,281 25	7,144	32,54	57,94	83,34
19/64	0,296 875	7,541	32,94	58,34	83,74
5/16	0,312 5	7,938	33,34	58,74	84,14
21/64	0,328 125	8,334	33,73	59,13	84,53
11/32	0,343 75	8,731	34,13	59,53	84,93
23/64	0,359 375	9,128	34,53	59,93	85,33
3/8	0,375	9,525	34,93	60,33	85,73
25/64	0,390 625	9,922	35,32	60,72	86,12
13/32	0,406 25	10,319	35,72	61,12	86,52
27/64	0,421 875	10,716	36,12	61,52	86,92
7/16	0437 5	11,113	36,51	61,91	87,31
29/64	0,453 125	11,509	36,91	62,31	87,71
15/32	0,468 75	11,906	37,31	62,71	88,11
31/64	0,484 375	12,303	37,70	63,10	88,50

Pulgadas		0	1	2	3
1/2	0,5	12,700	38,10	63,50	88,90
33/64	0,515 625	13,097	38,50	63,90	89,30
17/32	0,531 25	13,494	38,89	64,29	89,69
35/64	0,546 875	13,891	39,29	64,69	90,09
9/16	0,562 5	14,288	39,69	65,09	90,49
37/64	0,578 125	14,684	40,08	65,48	90,88
19/32	0,593 75	15,081	40,48	65,88	91,28
39/64	0,609 375	15,478	40,88	66,28	91,68
5/8	0,625	15,875	41,28	66,68	92,08
41/64	0,640 625	16,272	41,67	67,07	92,47
21/32	0,656 25	16,669	42,07	67,47	92,87
43/64	0,671 875	17,066	42,47	67,87	93,27
11/16	0,687 5	17,463	42,86	68,26	93,66
45/64	0,703 125	17,859	43,26	68,66	94,06
23/32	0,718 75	18,256	43,66	69,06	94,46
47/64	0,734 375	18,653	44,05	69,45	94,85
3/4	0,75	19,050	44,45	69,85	95,25
49/64	0,765 625	19,447	44,85	70,25	95,65
25/32	0,781 25	19,844	45,24	70,64	96,04
51/64	0,796 875	20,241	45,64	71,04	96,44
13/16	0,812 5	20,638	46,04	71,44	96,84
53/64	0,828 125	21,034	46,43	71,83	97,23
27/32	0,843 75	21,431	46,83	72,23	97,63
55/64	0,859 375	21,828	47,23	72,63	98,03
7/8	0,875	22,225	47,63	73,03	98,43
57/64	0,890 625	22,622	48,02	73,42	98,82
29/32	0,906 25	23,019	48,42	73,82	99,22
59/64	0,921 875	23,416	48,82	74,22	99,62
15/16	0,937 5	23,813	49,21	74,61	100,01
61/64	0,953 125	24,209	49,61	75,01	100,41
31/32	0,968 75	24,606	50,01	75,41	100,81
63/64	0,984 375	25,003	50,40	75,80	101,20

Los valores superiores a 1 pulgada se han redondeado a centésimas de milímetro.

Unidades de superficie

Para los núms. en negritas, ver la tabla de la pág. 21

Unidad		in²	ft²	yd²	milla²	cm²	dm²	m²	a	ha	km²
1 in²	=	1	–	–	–	**6,4516**	0,06452	–	–	–	–
1 ft²	=	144	1	0,1111	–	929	9,29	**0,0929**	–	–	–
1 yd²	=	1296	9	1	–	8361	83,61	**0,8361**	–	–	–
1 mile²	=	–	–	–	1	–	–	–	–	259	**2,59**
1 cm²	=	**0,155**	–	–	–	1	0,1	–	–	–	–
1 dm²	=	15,5	0,1076	0,01196	–	100	1	0,01	–	–	–
1 m²	=	1550	**10,76**	**1,196**	–	10000	100	1	0,01	–	–
1 a	=	–	1076	119,6	–	–	10000	100	1	0,01	–
1 ha	=	–	–	–	–	–	–	10000	100	1	0,01
1 km²	=	–	–	–	**0,3861**	–	–	–	10000	100	1

1 in² = 1 pulgada cuadrada (sq. in)
1 ft² = 1 pie cuadrado (sq. ft)
1 yd² = 1 yarda cuadrada (sq. yd)
1 milla² = 1 milla cuadrada (sq. mile)

Otras unidades angloamericanas

1 mil² (milésima cuadr.) = 10^{-6} in² (pulg. cuadr.) = 0,0006452 mm²

1 cir. mil (milésima circular) = $\frac{\pi}{4}$ mil² = 0,0005067 mm²

(Superf. de un círc. de 1 milésima de diám.)

1 cir in (circular inch) = $\frac{\pi}{4}$ in² = 5,067 cm²

(Superf. de un círc. de 1 pulg. de diám.)
1 line² (línea cuadr.) = 0,01 in²
= 6,452 mm²
1 rod² (vara cuadr.) = 1 pole² (estadal cuadr.)
= 1 perch² (percha cuadr.) = 25,29 m²
1 chain² (cadena cuadr.) = 16 rod²
1 rood=40 rod2= 1011,71 m2= 1/4 acre
1 acre = 4840 yd² = 4046,86 m²
= **40,4686 a**
1 sección (EE.UU.) = 1 mile² = 2,59 km²
1 township (EE.UU.) = 36 mile² = 93,24 km²

Unidades alemanas antiguas de agrimensura
(en desuso)

1 mojada (Morgen) de Baden = 36 a
1 jornal (Tagwerk) de Baviera = 34,07 a
1 mojada (Morgen) de Prusia = 25,53 a
1 mojada (Morgen) de Württemberg = 31,52 a

Formatos del papel
(DIN 476)

Medidas en mm

A 0	841 x 1189	**A 6**	105 x 148
A 1	594 x 841	**A 7**	74 x 105
A 2	420 x 594	**A 8**	52 x 74
A 3	297 x 420	**A 9**	37 x 52
A 4	210 x 297[1]	**A 10**	26 x 37
A 5	148 x 210		

[1] EE.UU. = 216 x 279

Unidades de superficie

	Conversión de								
	in² en cm²	ft² en m²	yd² en m²	acre en a	milla² en km²	cm² en in²	m² en ft²	m² en yd²	km² en mile²
1,0	6,45	0,0929	0,836	40,5	2,59	0,155	10,8	1,20	0,386
1,1	7,10	0,102	0,920	44,5	2,85	0,171	11,8	1,32	0,425
1,2	7,74	0,111	1,00	48,6	3,11	0,186	12,9	1,44	0,463
1,3	8,39	0,121	1,09	52,6	3,37	0,202	14,0	1,55	0,502
1,4	9,03	0,130	1,17	56,7	3,63	0,217	15,1	1,67	0,541
1,5	9,68	0,139	1,25	60,7	3,89	0,233	16,1	1,79	0,579
1,6	10,3	0,149	1,34	64,7	4,14	0,248	17,2	1,91	0,618
1,7	11,0	0,158	1,42	68,8	4,40	0,264	18,3	2,03	0,656
1,8	11,6	0,167	1,50	72,8	4,66	0,279	19,4	2,15	0,695
1,9	12,3	0,177	1,59	76,9	4,92	0,295	20,5	2,27	0,734
2,0	12,9	0,186	1,67	80,9	5,18	0,310	21,5	2,39	0,772
2,1	13,5	0,195	1,76	85,0	5,44	0,326	22,6	2,51	0,811
2,2	14,2	0,204	1,84	89,0	5,70	0,341	23,7	2,63	0,849
2,3	14,8	0,214	1,92	93,1	5,96	0,357	24,8	2,75	0,888
2,4	15,5	0,223	2,01	97,1	6,22	0,372	25,8	2,87	0,927
2,5	16,1	0,232	2,09	101	6,47	0,388	26,9	2,99	0,965
2,6	16,8	0,242	2,17	105	6,73	0,403	28,0	3,11	1,00
2,7	17,4	0,251	2,26	109	6,99	0,419	29,1	3,23	1,04
2,8	18,1	0,260	2,34	113	7,25	0,434	30,1	3,35	1,08
2,9	18,7	0,269	2,42	117	7,51	0,450	31,2	3,47	1,12
3,0	19,4	0,279	2,51	121	7,77	0,465	32,3	3,59	1,16
3,2	20,6	0,297	2,68	129	8,29	0,496	34,4	3,83	1,24
3,4	21,9	0,316	2,84	138	8,81	0,527	36,6	4,07	1,31
3,6	23,2	0,334	3,01	146	9,32	0,558	38,8	4,31	1,39
3,8	24,5	0,353	3,18	154	9,84	0,589	40,9	4,54	1,47
4,0	25,8	0,372	3,34	162	10,4	0,620	43,1	4,78	1,54
4,2	27,1	0,390	3,51	170	10,9	0,651	45,2	5,02	1,62
4,4	28,4	0,409	3,68	178	11,4	0,682	47,4	5,26	1,70
4,6	29,7	0,427	3,85	186	11,9	0,713	49,5	5,50	1,78
4,8	31,0	0,446	4,01	194	12,4	0,744	51,7	5,74	1,85
5,0	32,3	0,465	4,18	202	12,9	0,775	53,8	5,98	1,93
5,2	33,5	0,483	4,35	210	13,5	0,806	56,0	6,22	2,01
5,4	34,8	0,502	4,51	219	14,0	0,837	58,1	6,46	2,08
5,6	36,1	0,520	4,68	227	14,5	0,868	60,3	6,70	2,16
5,8	37,4	0,539	4,85	235	15,0	0,899	62,4	6,94	2,24
6,0	38,7	0,557	5,02	243	15,5	0,930	64,6	7,18	2,32
6,2	40,0	0,576	5,18	251	16,1	0,961	66,7	7,42	2,39
6,4	41,3	0,595	5,35	259	16,6	0,992	68,9	7,65	2,47
6,6	42,6	0,613	5,52	267	17,1	1,02	71,0	7,89	2,55
6,8	43,9	0,632	5,69	275	17,6	1,05	73,2	8,13	2,63
7,0	45,2	0,650	5,85	283	18,1	1,09	75,3	8,37	2,70
7,5	48,4	0,697	6,27	304	19,4	1,16	80,7	8,97	2,90
8,0	51,6	0,743	6,69	324	20,7	1,24	86,1	9,57	3,09
8,5	54,8	0,790	7,11	344	22,0	1,32	91,5	10,2	3,28
9,0	58,1	0,836	7,52	364	23,3	1,40	96,9	10,8	3,47
9,5	61,3	0,883	7,94	384	24,6	1,47	102	11,4	3,67

La tabla sirve también para los múltiplos y submúltiplos decimales.
Ejemplo: in² = 6,45 cm²; 5,8 yd² = 4,85 m²; 58 yd² = 48,5 m²

Unidades de ángulos

Nombres de las unidades en pág. 12

Unidad[1]		°	′	″	rad	gon	cgon	mgon
1°	=	1	60	3600	0,017453	1,1111	111,11	1111,11
1′	=	0,016667	1	60	–	0,018518	1,85185	18,5185
1″	=	0,0002778	0,016667	1	–	0,0003086	0,030864	0,30864
1 rad	=	57,2958	3437,75	206265	1	63,662	6366,2	63662
1 gon	=	0,9	54	3240	0,015708	1	100	1000
1 cgon	=	0,009	0,54	32,4	–	0,01	1	10
1 mgon	=	0,0009	0,054	3,24	–	0,001	0,1	1

Unidades de volumen

Para los números en negritas ver la tabla de la pág. 23

Unidad		in^3	ft^3	yd^3	gal (UK)	gal (US)	cm^3	dm^3 (l)	m^3
1 in^3	=	1	–	–	–	–	16,3871	0,01639	–
1 ft^3	=	1728	1	0,03704	6,229	7,481	–	28,3168	0,02832
1 yd^3	=	46656	27	1	168,18	201,97	–	764,555	0,76456
1 gal (G.B.)	=	277,42	0,16054	–	1	1,20095	4546,09	4,54609	–
1 gal (EE.UU.)	=	231	0,13368	–	0,83267	1	3785,41	3,78541	–
1 cm^3	=	0,06102	–	–	–	–	1	0,001	–
1 dm^3 (l)	=	61,0236	0,03531	0,00131	0,21997	0,26417	1000	1	0,001
1 m^3	=	61023,6	35,315	1,30795	219,969	264,172	10^6	1000	1

in^3 = pulgada cúbica (cu. in)
ft^3 = pie cúbico, cubic foot (cu. ft.)
yd^3 = yarda cúbica, cubic yard (cu. yd.)
gal = galón, gallon

Otras unidades de volumen

Arqueo de barcos

1 RT (tonelada de registro) = 100 ft^3 = 2,832 m^3; BRT (tonelaje de registro bruto)

Volumen interior total del barco; NRT (tonelaje de registro neto) = Espacio para carga de un barco

Bodegas = Volumen total carga del barco en m^3.

1 tonelada flete = 40 ft^3 = 1,1327 m^3.

Gran Bretaña (G.B.)

1 min (minim) = 0,059194 cm^3
1 dracma líquido = 60 mm = 3,5516 cm^3 (= 1/8 onza)
1 fl. oz. (onza líq.) = 8 fl. drachm = 0,028413 l
1 gill = 5 fl. oz. = 0,14207 l
1 pt (pinta) = 4 gills = **0,56826 l**
1 gt (cuartillo) = 2 pt = 1,13652 l
1 gal (galón) = 4 gt = **4,5461 l**
1 bbl (barril) = 36 gal = 163,6 l

Para materiales sólidos:
1 pk (celemín inglés) = 2 gal = 9,0922 l
1 bu (bushel) = 8 gal = 36,369 l
1 qr (arroba) = 8 bu = 290,95 l

Estados Unidos (EE.UU.)

1 min (minim) = 0,061612 cm^3
1 dracma líq. = 60 min = 3,6967 cm^3
1 fl. oz. (onza líq.) = 8 fl. dram = 0,029574 l
1 gill = 4 fl. oz. = 0,11829 l
1 cuartillo líq. = 2 liq. pt. = 0,94635 l
1 liq. pt. (pinta líq) = 4 gills = **0,47318 l**
1 gal (galón) = 231 in^3 = 4 liq. quarts = **3,7854 l**
1 liq. bbl (barril líq.) = 119,24 l
1 barril de petróleo[2] = 42 gal = **158,99 l**

Para materiales sólidos;
1 pinta seca = 0,55061 dm^3
1 cuartillo seco = 2 dry pints = 1,1012 dm^3
1 celemín (peck) = 8 dry quarts = 8,8098 dm^3
1 bushel = 4 pecks = 35,239 dm^3
1 dry bbl (barril seco) = 7056 in^3 = 115,63 dm^3

(1) Es conveniente en los datos de ángulos emplear sólo una de las unidades dadas. Así, en vez de α = 33°17′27,6″ es preferible escribir α = 32,291°, o α = 1997,46′ o α = 119847,6″
(2) Para petróleo crudo

Unidades de volumen y de caudal

↓	Conversión de in^3 en cm^3	ft^3 en l	yd^3 en m^3	pt (UK) en l	liq pt (US) en l	gal (UK) en l	gal (US) en l	barril petróleo en l	ft^3/min cfm en m^3/h
1,0	16,4	28,3	0,765	0,568	0,473	4,55	3,79	159	1,70
1,1	18,0	31,1	0,841	0,625	0,520	5,00	4,16	175	1,87
1,2	19,7	34,0	0,917	0,682	0,568	5,46	4,54	191	2,04
1,3	21,3	36,8	0,994	0,739	0,615	5,91	4,92	207	2,21
1,4	22,9	39,6	1,07	0,796	0,662	6,36	5,30	223	2,38
1,5	24,6	42,5	1,15	0,852	0,710	6,82	5,68	238	2,55
1,6	26,2	45,3	1,22	0,909	0,757	7,27	6,06	254	2,72
1,7	27,9	48,1	1,30	0,966	0,804	7,73	6,44	270	2,89
1,8	29,5	51,0	1,38	1,02	0,852	8,18	6,81	286	3,06
1,9	31,1	53,8	1,45	1,08	0,899	8,64	7,19	302	3,23
2,0	32,8	56,6	1,53	1,14	0,946	9,09	7,57	318	3,40
2,1	34,4	59,5	1,61	1,19	0,994	9,55	7,95	334	3,57
2,2	36,1	62,3	1,68	1,25	1,04	10,0	8,33	350	3,74
2,3	37,7	65,1	1,76	1,31	1,09	10,5	8,71	366	3,91
2,4	39,3	68,0	1,83	1,36	1,14	10,9	9,08	382	4,08
2,5	41,0	70,8	1,91	1,42	1,18	11,4	9,46	397	4,25
2,6	42,6	73,6	1,99	1,48	1,23	11,8	9,84	413	4,42
2,7	44,2	76,5	2,06	1,53	1,28	12,3	10,2	429	4,59
2,8	45,9	79,3	2,14	1,59	1,32	12,7	10,6	445	4,76
2,9	47,5	82,1	2,22	1,65	1,37	13,2	11,0	461	4,93
3,0	49,2	85,0	2,29	1,70	1,42	13,6	11,4	477	5,10
3,2	52,4	90,6	2,45	1,82	1,51	14,5	12,1	509	5,44
3,4	55,7	96,3	2,60	1,93	1,61	15,5	12,9	541	5,78
3,6	59,0	102	2,75	2,05	1,70	16,4	13,6	572	6,12
3,8	62,3	108	2,91	2,16	1,80	17,3	14,4	604	6,46
4,0	65,5	113	3,06	2,27	1,89	18,2	15,1	636	6,80
4,2	68,8	119	3,21	2,39	1,99	19,1	15,9	668	7,14
4,4	72,1	125	3,36	2,50	2,08	20,0	16,7	700	7,48
4,6	75,4	130	3,52	2,61	2,18	20,9	17,4	731	7,82
4,8	78,7	136	3,67	2,73	2,27	21,8	18,2	763	8,16
5,0	81,9	142	3,82	2,84	2,37	22,7	18,9	795	8,50
5,2	85,2	147	3,98	2,95	2,46	23,6	19,7	827	8,83
5,4	88,5	153	4,13	3,07	2,56	24,5	20,4	859	9,17
5,6	91,8	159	4,28	3,18	2,65	25,5	21,2	890	9,51
5,8	95,0	164	4,43	3,30	2,74	26,4	22,0	922	9,85
6,0	98,3	170	4,59	3,41	2,84	27,3	22,7	954	10,2
6,2	102	176	4,74	3,52	2,93	28,2	23,5	986	10,5
6,4	105	181	4,89	3,64	3,03	29,1	24,2	1018	10,9
6,6	108	187	5,05	3,75	3,12	30,0	25,0	1049	11,2
6,8	111	193	5,20	3,86	3,22	30,9	25,7	1081	11,6
7,0	115	198	5,35	3,98	3,31	31,8	26,5	1113	11,9
7,5	123	212	5,73	4,26	3,55	34,1	28,4	1192	12,7
8,0	131	227	6,12	4,55	3,79	36,4	30,3	1272	13,6
8,5	139	241	6,50	4,83	4,02	38,6	32,2	1351	14,4
9,0	147	255	6,88	5,11	4,26	40,9	34,1	1431	15,3
9,5	156	269	7,26	5,40	4,50	43,2	36,0	1510	16,1

La tabla sirve también para múltiplos y submúltiplos decimales
Ejemplos: 1 in^3 = 16,4 cm^3; 3 gal (G.B.) = 13,6 l; 30 gal (G.B.) = 136 l.

Unidades de masa

(en lenguaje corriente se llaman también "unidades de peso")

Para los números en negritas ver la tabla de la página 26.

Sistema Avoirdupois (en G.B. y EE.UU. son las unidades de peso corrientes)

Unidad		grano	dracma	onza	libra	quintal (G.B.)	quintal (EE.UU.)	ton (G.B.)	ton (EE.UU.)	g	kg	t
1 gr	=	1	0,03657	0,00229	1/7000	–	–	–	–	**0,064799**	–	–
1 dram	=	27,344	1	0,0625	0,00391	–	–	–	–	**1,77184**	–	–
1 oz	=	437,5	16	1	0,0625	–	–	–	–	**28,3495**	–	–
1 lb	=	7000	256	16	1	0,00893	0,01	–	0,0005	453,592	**0,45359**	–
1 cwt (G.B.)[1]	=	–	–	–	112	1	1,12	0,05	–	–	**50,8023**	–
1 cwt (EE.UU.)[2]	=	–	–	–	100	0,8929	1	0,04464	0,05	–	**45,3592**	–
1 ton (G.B.)[3]	=	–	–	–	2240	20	22,4	1	1,12	–	1016,05	**1,01605**
1 ton (EE.UU.)[4]	=	–	–	–	2000	17,857	20	0,8929	1	–	907,185	**0,90718**
1 g	=	15,432	0,5644	0,03527	–	–	–	–	–	1	0,001	–
1 kg	=	–	–	35,274	2,2046	0,01968	0,02205	–	–	1000	1	0,001
1 t	=	–	–	–	2204,6	19,684	22,046	0,9842	1,1023	10^6	1000	1

G.B. = Gran Bretaña, EE.UU. = Estados Unidos de América.
gr = grain, oz = ounce; lb = pound; cwt = hundredweight
1 slug = 14,5939 kg = Masa a la que una fuerza de 1 lbf comunica una aceleración de 1 ft/s^2
1 st (stone) = 14 lb = 6,35 kg (sólo en G.B.)
1 qr (arroba) = 28 lb = 1 2,7006 kg (sólo en G.B., raramente utilizado)
1 quintal = 100 lb = 1 cwt (US) = 45,3592 kg
1 tdw (tonelada peso muerto) = 1 ton (G.B.) = 1 ,01 6 t (anticuada)
El peso muerto es la capacidad total (carga + lastre + combustible + agua + pertrechos) de un barco.

(1) también "long cwt (cwt l)"
(2) también "short cwt (cwt sh)"
(3) también "long ton (tn l)"
(4) también "short ton (tn sh)"

Sistema Troy (en G.B. y EE.UU. para piedras y metales preciosos) y

Sistema de los Apothecaries (boticarios) (en G.B. y EE.UU. para drogas)

Unidad		gr	s ap	dwt	dr ap	oz t = oz ap	lb t = lb ap	Kt	g
1 gr	=	1	0,05	0,04167	0,01667	–	–	0,324	**0,064799**
1 s ap	=	20	1	0,8333	0,3333	–	–	–	1,296
1 dwt	=	24	1,2	1	0,4	0,05	–	–	1,5552
1 dr ap	=	60	3	2,5	1	0,125	–	–	3,8879
1 oz t = 1 oz ap	=	480	24	20	8	1	0,08333	–	31,1035
1 lb t = 1 lb ap	=	5760	288	240	96	12	1	–	373,24
1 Kt	=	3,086	–	–	–	–	–	1	0,2000
1 g	=	15,432	0,7716	0,643	0,2572	0,03215	0,002679	5	1

gr = grain = grano
s ap = escrúpulo
dwt = pennyweight
dr ap = dracma de boticario (EE.UU.: apothecarie's dram)
oz t (G.B.: oz. tr.) = onza troy
lb t = troy pound = libra troy
lb ap = libra de boticario
Kt = quilate métrico (sólo para piedras preciosas)[1]

Medidas relacionadas con la longitud
Unidad SI: kg/m
1 lb/ft = **1,48816** kg/m, 1 lb/yd = **0,49605** kg/m
Unidades de la técnica textil (DIN 60905 y 60910):
1 tex = 1 g/km, 1 mtex = 1 mg/km,
1 dtex = 1 dg/km, 1 ktex = 1 kg/m
Antigua unidad (en desuso):
1 den (Denier) = 1 g/9 km = 0,1111 tex, 1 tex = 9 den

Densidad
Unidad SI: kg/m^3
1 kg/dm^3 1 kg/l = 1 g/cm^3 = 1000 kg/m^3
1 lb/ft^3 = **16,018** kg/m^3 = 0,016018 kg/l
1 lb/gal (G.B.) = **0,099776** kg/l, 1 lb/gal (EE.UU.) = **0,11983** kg/l

(1) Antiguamente se utilizaba "quilate" con otro significado, en las aleaciones de oro como índice del contenido en oro: el oro puro (oro fino) = 24 quilates; el oro de 14 quilates 14/24 = 585/1000 de proporción en peso de oro fino.

Unidades de masa

Conversión de	grano	dracma	onza	libra	quintal (G.B.)	quintal (EE.UU.)	tonelada (G.B.)	tonelada (EE.UU.)
↓	a g	a g	a g	a kg	a kg	a kg	a t	a t
1,0	0,0648	1,77	28,3	0,454	50,8	45,4	1,02	0,907
1,1	0,0713	1,95	31,2	0,499	55,9	49,9	1,12	0,998
1,2	0,0778	2,13	34,0	0,544	61,0	54,4	1,22	1,09
1,3	0,0842	2,30	36,9	0,590	66,0	59,0	1,32	1,18
1,4	0,0907	2,48	39,7	0,635	71,1	63,5	1,42	1,27
1,5	0,0972	2,66	42,5	0,680	76,2	68,0	1,52	1,36
1,6	0,104	2,83	45,4	0,726	81,3	72,6	1,63	1,45
1,7	0,110	3,01	48,2	0,771	86,4	77,1	1,73	1,54
1,8	0,117	3,19	51,0	0,816	91,4	81,6	1,83	1,63
1,9	0,123	3,37	53,9	0,862	96,5	86,2	1,93	1,72
2,0	0,130	3,54	56,7	0,907	102	90,7	2,03	1,81
2,1	0,136	3,72	59,5	0,953	107	95,3	2,13	1,91
2,2	0,143	3,90	62,4	0,998	112	99,8	2,24	2,00
2,3	0,149	4,08	65,2	1,04	117	104	2,34	2,09
2,4	0,156	4,25	68,0	1,09	122	109	2,44	2,18
2,5	0,162	4,43	70,9	1,13	127	113	2,54	2,27
2,6	0,168	4,61	73,7	1,18	132	118	2,64	2,36
2,7	0,175	4,78	76,5	1,22	137	122	2,74	2,45
2,8	0,181	4,96	79,4	1,27	142	127	2,84	2,54
2,9	0,188	5,14	82,2	1,32	147	132	2,95	2,63
3,0	0,194	5,32	85,0	1,36	152	136	3,05	2,72
3,2	0,207	5,67	90,7	1,45	163	145	3,25	2,90
3,4	0,220	6,02	96,4	1,54	173	154	3,45	3,08
3,6	0,233	6,38	102	1,63	183	163	3,66	3,27
3,8	0,246	6,73	108	1,72	193	172	3,86	3,45
4,0	0,259	7,09	113	1,81	203	181	4,06	3,63
4,2	0,272	7,44	119	1,91	213	191	4,27	3,81
4,4	0,285	7,80	125	2,00	224	200	4,47	3,99
4,6	0,298	8,15	130	2,09	234	209	4,67	4,17
4,8	0,311	8,50	136	2,18	244	218	4,88	4,35
5,0	0,324	8,86	142	2,27	254	227	5,08	4,54
5,2	0,337	9,21	147	2,36	264	236	5,28	4,72
5,4	0,350	9,57	153	2,45	274	245	5,49	4,90
5,6	0,363	9,92	159	2,54	284	254	5,69	5,08
5,8	0,376	10,3	164	2,63	295	263	5,89	5,26
6,0	0,389	10,6	170	2,72	305	272	6,10	5,44
6,5	0,421	11,5	184	2,95	330	295	6,60	5,90
7,0	0,454	12,4	198	3,18	356	318	7,11	6,35
7,5	0,486	13,3	213	3,40	381	340	7,62	6,80
8,0	0,518	14,2	227	3,63	406	363	8,13	7,26
8,5	0,551	15,1	241	3,86	432	386	8,64	7,71
9,0	0,583	15,9	255	4,08	457	408	9,14	8,16
9,5	0,616	16,8	269	4,31	483	431	9,65	8,62

La tabla es válida también para múltiplos y submúltiplos decimales.
Ejemplos: 1 lb = 0,454 kg; 5 ton (G.B.) = 5.08 t: 42 oz = 1190 g

Masa y densidad relacionada con la longitud

Conversión de	lb/ft	lb/yd	lb/ft³	lb/gal (UK)	lb/gal (US)
↓	en kg/m	en kg/m	en kg/m³	en kg/l	en kg/l
1,0	1,49	0,496	16,0	0,0998	0,120
1,1	1,64	0,546	17,6	0,110	0,132
1,2	1,79	0,595	19,2	0,120	0,144
1,3	1,93	0,645	20,8	0,130	0,156
1,4	2,08	0,694	22,4	0,140	0,168
1,5	2,23	0,744	24,0	0,150	0,180
1,6	2,38	0,794	25,6	0,160	0,192
1,7	2,53	0,843	27,2	0,170	0,204
1,8	2,68	0,893	28,8	0,180	0,216
1,9	2,83	0,943	30,4	0,190	0,228
2,0	2,98	0,992	32,0	0,200	0,240
2,1	3,13	1,04	33,6	0,210	0,252
2,2	3,27	1,09	35,2	0,220	0,264
2,3	3,42	1,14	36,8	0,229	0,276
2,4	3,57	1,19	38,4	0,239	0,288
2,5	3,72	1,24	40,0	0,249	0,300
2,6	3,87	1,29	41,6	0,259	0,312
2,7	4,02	1,34	43,2	0,269	0,324
2,8	4,17	1,39	44,9	0,279	0,336
2,9	4,32	1,44	46,5	0,289	0,348
3,0	4,46	1,49	48,1	0,299	0,359
3,2	4,76	1,59	51,3	0,319	0,383
3,4	5,06	1,69	54,5	0,339	0,407
3,6	5,36	1,79	57,7	0,359	0,431
3,8	5,66	1,89	60,9	0,379	0,455
4,0	5,95	1,98	64,1	0,399	0,479
4,2	6,25	2,08	67,3	0,419	0,503
4,4	6,55	2,18	70,5	0,439	0,527
4,6	6,85	2,28	73,7	0,459	0,551
4,8	7,14	2,38	76,9	0,479	0,575
5,0	7,44	2,48	80,1	0,499	0,599
5,2	7,74	2,58	83,3	0,519	0,623
5,4	8,04	2,68	86,5	0,539	0,647
5,6	8,33	2,78	89,7	0,559	0,671
5,8	8,63	2,88	92,9	0,579	0,695
6,0	8,93	2,98	96,1	0,599	0,719
6,5	9,67	3,22	104	0,649	0,779
7,0	10,4	3,47	112	0,698	0,839
7,5	11,2	3,72	120	0,748	0,899
8,0	11,9	3,97	128	0,798	0,959
8,5	12,6	4,22	136	0,848	1,02
9,0	13,4	4,46	144	0,898	1,08

La tabla es válida también para múltiplos y submúltiplos decimales

Conversión de	+ °Bé	– °Bé	° API
↓	en kg/l	en kg/l	en kg/l
0	1,000	1,000	1,076
2	1,014	0,986	1,060
4	1,029	0,973	1,044
6	1,043	0,960	1,029
8	1,059	0,947	1,014
10	1,074	0,935	1,000
12	1,091	0,923	0,986
14	1,107	0,912	0,973
16	1,125	0,900	0,959
18	1,143	0,889	0,946
20	1,161	0,878	0,934
22	1,180	0,868	0,922
24	1,200	0,857	0,910
26	1,220	0,847	0,898
28	1,241	0,837	0,887
30	1,262	0,828	0,876
32	1,285	0,818	0,865
34	1,308	0,809	0,855
36	1,332	0,800	0,845
38	1,357	0,792	0,835
40	1,384	0,783	0,825
45	1,453	0,762	0,802
50	1,530	0,743	0,780
55	1,616	0,724	0,759
60	1,712	0,706	0,739
65	1,820	0,689	0,720
70	1,942	0,673	0,702

°Bé (Grados Baumé) es una medida para densidad de líquidos más pesados (+ °Bé) o más ligeros (– °Bé) que el agua (a 15 °C), que ya no se utiliza.
$\rho = 144,3/(144,3 \pm n)$
ρ = Densidad en kg/l, n grados aerométricos en °Bé.
°API (American Petroleum Institute) se utilizan en los EE.UU. para indicar densidades de combustibles y aceites.
$\rho = 141,5/(131,5 + n)$
ρ = Densidad en kg/l, n grados aerométricos en °API.

Ejemplos: 7 lb/gallon (EE.UU.) = 0,838 kg/l; –30 °Bé = 0,828 kg/l

Unidades de fuerza

(Para las unidades en negritas, ver la tabla de conversión de la página 29.)

Unidad		N	kp	lbf
1 N (Newton)	=	1	0,101972	0,224809
No se utiliza ya 1 kp (kilopondio)	=	**9,80665**	1	2,204615
1 lbf (libra-fuerza)	=	**4,44822**	0,453594	1

1 pdl (poundal) = 0,138255 N = la fuerza que comunica a una masa de 1 lb una aceleración de 1 pie/s².
1 sn (esteno)* = 10³ N.

Unidades de presión y tensión

(Para los números en negritas, ver la tabla de conversión de la página 29.)

Unidad[1]		Pa	µbar	hPa	bar	N/mm²	kp/mm²	at	kp/m²	Torr	atm	lbf/in²	lbf/ft²	tonf/in²
1 Pa = 1 N/m²	=	1	10	0,01	10^{-5}	10^{-6}	–	–	0,10197	0,0075	–	–	–	–
1 mbar	=	0,1	1	0,001	10^{-6}	10^{-7}	–	–	0,0102	–	–	–	–	–
1 hPa = 1 mbar	=	100	1000	1	0,001	0,0001	–	–	10,197	0,7501	–	0,0145	2,0886	–
1 bar	=	10^5	10^6	1000	1	0,1	0,0102	1,0197	10197	750,06	0,9869	14,5037	2088,6	–
1 N/mm²	=	10^6	10^7	10000	10	1	0,10197	10,197	101972	7501	9,8692	145,037	20886	0,06475
En desuso														
1 kp/mm²	=	–	–	98066,5	98,0665	**9,80665**	1	100	10^6	73556	96,784	1422,33	–	0,63497
1 at = 1 kp/cm²	=	98066,59,	–	980,665	**0,98066**	0,0981	0,01	1	10000	735,56	0,96784	14,2233	2048,16	–
1 kp/m² = 1 mmH_2O	=	80665	98,0665	0,0981	–	–	10^{-6}	10^{-4}	1	–	–	–	0,2048	–
1 Torr = 1 mmHg	=	133,322	1333,22	**1,33322**	–	–	–	0,00136	13,5951	1	0,00132	0,01934	2,7845	–
1 atm	=	101325	–	1013,25	**1,01325**	–	–	1,03323	10332,3	760	1	14,695	2116,1	–
Unidades angloamericanas														
1 lbf/in²	=	6894,76	68948	68,948	**0,0689**	0,00689	–	0,07031	703,07	51,715	0,06805	1	144	–
1 lbf/ft²	=	**47,8803**	478,8	0,4788	–	–	–	–	4,8824	0,35913	–	–	1	–
1 tonf/in²	=	–	–	–	154,443	**15,4443**	1,57488	157,488	–	–	152,42	2240	–	1

lbf/in² = libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi); lbf/ft² = libra-fuerza por pie cuadrado (psf); tonf/in² = ton-fuerza/in² (G.B.) por pulgada cuadrada
1 pdl/ft² (poundal por pie cuadrado) = 1,48816 Pa
1 barye* = 1 µbar; 1 pz (pièce)* = 1 sn/m² (esteno/m²)* = 10³ Pa

[1] Nombre de las unidades en págs. 13 y 14 * Unidad francesa

Unidades de fuerza, presión y tensión

	Conversión de Kp/mm² [1] en N/mm²	at en bar	atm en bar	Torr en hPa	lbf en N	lbf/in² en bar	tonf/in² en N/mm²	lbf/ft² en Pa
1,0	9,807	0,9807	1,013	1,333	4,448	0,0689	15,44	47,88
1,1	10,79	1,079	1,115	1,467	4,893	0,0758	16,99	52,67
1,2	11,77	1,177	1,216	1,600	5,338	0,0827	18,53	57,46
1,3	12,75	1,275	1,317	1,733	5,783	0,0896	20,08	62,24
1,4	13,73	1,373	1,419	1,867	6,228	0,0965	21,62	67,03
1,5	14,71	1,471	1,520	2,000	6,672	0,103	23,17	71,82
1,6	15,69	1,569	1,621	2,133	7,117	0,110	24,71	76,61
1,7	16,67	1,667	1,723	2,266	7,562	0,117	26,26	81,40
1,8	17,65	1,765	1,824	2,400	8,007	0,124	27,80	86,18
1,9	18,63	1,863	1,925	2,533	8,452	0,131	29,34	90,97
2,0	19,61	1,961	2,026	2,666	8,896	0,138	30,89	95,76
2,1	20,59	2,059	2,128	2,800	9,341	0,145	32,43	100,5
2,2	21,57	2,157	2,229	2,933	9,786	0,152	33,98	105,3
2,3	22,56	2,256	2,330	3,066	10,23	0,158	35,52	110,1
2,4	23,54	2,354	2,432	3,200	10,68	0,165	37,07	114,9
2,5	24,52	2,452	2,533	3,333	11,12	0,172	38,61	119,7
2,6	25,50	2,550	2,634	3,466	11,57	0,179	40,16	124,5
2,7	26,48	2,648	2,736	3,600	12,01	0,186	41,70	129,3
2,8	27,46	2,746	2,837	3,733	12,46	0,193	43,24	134,1
2,9	28,44	2,844	2,938	3,866	12,90	0,200	44,79	138,9
3,0	29,42	2,942	3,040	4,000	13,34	0,207	46,33	143,6
3,2	31,38	3,138	3,242	4,266	14,23	0,220	49,42	153,2
3,4	33,34	3,334	3,445	4,533	15,12	0,234	52,51	162,8
3,6	35,30	3,530	3,648	4,800	16,01	0,248	55,60	172,4
3,8	37,27	3,727	3,850	5,066	16,90	0,262	58,69	181,9
4,0	39,23	3,923	4,053	5,333	17,79	0,276	61,78	191,6
4,2	41,19	4,119	4,256	5,600	18,68	0,289	64,87	201,1
4,4	43,15	4,315	4,458	5,866	19,57	0,303	67,95	210,7
4,6	45,11	4,511	4,661	6,133	20,46	0,317	71,04	220,2
4,8	47,07	4,707	4,864	6,399	21,35	0,331	74,13	229,8
5,0	49,03	4,903	5,066	6,666	22,24	0,345	77,22	239,4
5,2	50,99	5,099	5,269	6,933	23,13	0,358	80,31	249,0
5,4	52,96	5,296	5,472	7,199	24,02	0,372	83,40	258,6
5,6	54,92	5,492	5,674	7,466	24,91	0,386	86,49	268,1
5,8	56,88	5,688	5,877	7,733	25,80	0,400	89,58	277,7
6,0	58,84	5,884	6,079	7,999	26,69	0,413	92,67	287,3
6,5	63,74	6,374	6,586	8,666	28,91	0,448	100,4	311,2
7,0	68,65	6,865	7,093	9,333	31,14	0,482	108,1	335,2
7,5	73,55	7,355	7,599	9,999	33,36	0,517	115,8	359,1
8,0	78,45	7,845	8,106	10,67	35,59	0,551	123,6	383,0
8,5	83,36	8,336	8,613	11,33	37,81	0,586	131,3	407,0
9,0	88,26	8,826	9,119	12,00	40,03	0,620	139,0	430,9
9,5	93,16	9,316	9,626	12,67	42,26	0,655	146,7	454,9

La tabla es válida también para los múltiplos y submúltiplos decimales.
Ejemplo: 260 lbf/in² = 17,9 bar

[1] También sirve para la conversión de kp en N.

Unidades de energía

(Unidades de trabajo)

Para los números en negritas ver la tabla de conversión de la página 31

Unidad[1]	J	kW · h	kp · m	CV · h	kcal	ft · lbf	Btu
1 J =	1	277,8 · 10^{-9}	0,10197	377,67 · 10^{-9}	**238,85 · 10^{-6}**	0,73756	947,8 · 10^{-6}
1 kW · h =	3,6 · 10^{6}	1	367098	**1,35962**	859,85	2,6552 · 10^{6}	3412,13
En desuso							
1 kp · m =	**9,80665**	2,7243 · 10^{-6}	1	3,704 · 10^{-6}	2,342 · 10^{-3}	7,2330	9,295 · 10^{-3}
1 CV · h =	2,6478 · 10^{6}	**0,735499**	270000	1	632,369	1,9529 · 10^{6}	2509,6
1 kcal/s =	**4,186,8**	1,163 · 10^{-3}	426,935	1,581 · 10^{-3}	1	3088	3,9683
Unidades angloamericanas							
1 ft · lbf =	**1,35582**	376,6 · 10^{-9}	0,13826	512,1 · 10^{-9}	323,8 · 10^{-6}	1	1,285 · 10^{-3}
1 Btu[3] =	**1055,06**	293,1 · 10^{-6}	107,59	398,5 · 10^{-6}	0,2520	778,17	1

ft lbf = pie libra-fuerza, Btu = British thermal unit (unidad térmica británica)
1 in ozf (pulgada libra-fuerza) = 0,007062 J; 1 in lbf (pulgada libra-fuerza) = **0,112985** J
1 ft pdl (pie poundal) = 0,04214 J
1 hph (caballo vapor inglés hora) = 2,685 · 10^{6} J = **0,7457** kW·h
1 termia (francesa) = 1000 frigorías (francesas) = 1000 kcal = 4,1868 MJ
1 kg UE (kilogramo unidades equival. de hulla)[4] = 29,3076 MJ = 8,141 kWh
1t UE (tonelada unidades equival. de hulla)[4] = 1000 kg UE = 29,3076 GJ = 8,141 MWh

Unidades de potencia

Para los números en negritas ver la tabla de conversión de la pagina 31

Unidad[1]	W	kW	kp · m/s	CV	kcal/s	hp	Btu/s
1 W =	1	0,001	0,10197	1,3596 · 10^{-3}	238,8 · 10^{-6}	1,341 · 10^{-3}	947,8 · 10^{-6}
1 kW =	1000	1	101,97	**1,35962**	**238,8 · 10^{-3}**	1,34102	947,8 · 10^{-3}
En desuso							
1 kp · m/s =	**9,80665**	9,807 · 10–3	1	13,33 · 10^{-3}	2,342 · 10^{-3}	13,15 · 10^{-3}	9,295 · 10^{-3}
1 CV =	735,499	0,735499	75	1	0,17567	0,98632	0,69712
1 kcal/s =	4186,8	**4,1868**	426,935	5,6925	1	5,6146	3,9683
Unidades angloamericanas							
1 hp =	745,70	**0,74570**	76,0402	1,0139	0,17811	1	0,70678
1 Btu/s =	1055,06	**1,05506**	107,586	1,4345	0,2520	1,4149	1

hp = horsepower (caballo de vapor)
1 ft · lbf/s = **1,35582** W
1 CV (caballo vapor francés) = 0,7355 kW
1 poncelet (francesa) = 100 kp·m/s = 0,981 kW
Potencia continua humana ≈ 0,1 kW

Normas: DIN 66035 tablas de conversión calorías-Joules; Joules-calorías
DIN 66036 tablas de conversión Caballos de vapor-kilowatios, kilowatios-Caballo de vapor
DIN 66039 tablas de conversión Kilocalorías-Watios hora; Watios hora-Kilocalorías.

(1) Para los nombres de las unidades, ver la pág. 14 y los pies de las tablas.
(2) 1 kcal ≈ Cantidad de calor necesaria para elevar 1°C la temperatura de 1 kg de agua a 15°C.
(3) 1 Btu ≈ Cantidad de calor necesaria, para elevar la temperatura de 1 lb de agua de 60°F a 61°F. 1 termia = 10^{5} Btu
(4) Las unidades de energía kg UE y t UE se basan en una potencia calorífica Hu de la hulla de 7000 kcal/kg

Unidades de energía y potencia

↓	Conversión de **kp · m** *kp · m/s* en J W	**PS · h** *PS* en kW · h kW	**kW · h** *kW* en CV · h CV	**kcal** *kcal/s* en kJ kW	**kJ** *kW* en kcal kcal/s	**ft · lbf** *ft · lbf/s* en J W	**in · lbf** *in · lbf/s* en J W	**hp · h** *hp* en kW · h kW	**Btu** *Btu/s* en kJ kW
1,0	9,807	0,7355	1,360	4,187	0,2388	1,356	0,1130	0,7457	1,055
1,1	10,79	0,8090	1,496	4,605	0,2627	1,491	0,1243	0,8203	1,161
1,2	11,77	0,8826	1,632	5,024	0,2866	1,627	0,1356	0,8948	1,266
1,3	12,75	0,9561	1,767	5,443	0,3105	1,763	0,1469	0,9694	1,372
1,4	13,73	1,030	1,903	5,862	0,3344	1,898	0,1582	1,044	1,477
1,5	14,71	1,103	2,039	6,280	0,3583	2,034	0,1695	1,119	1,583
1,6	15,69	1,177	2,175	6,699	0,3822	2,169	0,1808	1,193	1,688
1,7	16,67	1,250	2,311	7,118	0,4060	2,305	0,1921	1,268	1,794
1,8	17,65	1,324	2,447	7,536	0,4299	2,440	0,2034	1,342	1,899
1,9	18,63	1,397	2,583	7,955	0,4538	2,576	0,2147	1,417	2,005
2,0	19,61	1,471	2,719	8,374	0,4777	2,712	0,2260	1,491	2,110
2,1	20,59	1,545	2,855	8,792	0,5016	2,847	0,2373	1,566	2,216
2,2	21,57	1,618	2,991	9,211	0,5255	2,983	0,2486	1,641	2,321
2,3	22,56	1,692	3,127	9,630	0,5493	3,118	0,2599	1,715	2,427
2,4	23,54	1,765	3,263	10,05	0,5732	3,254	0,2712	1,790	2,532
2,5	24,52	1,839	3,399	10,47	0,5971	3,390	0,2825	1,864	2,638
2,6	25,50	1,912	3,535	10,89	0,6210	3,525	0,2938	1,939	2,743
2,7	26,48	1,986	3,671	11,30	0,6449	3,661	0,3051	2,013	2,849
2,8	27,46	2,059	3,807	11,72	0,6688	3,796	0,3164	2,088	2,954
2,9	28,44	2,133	3,943	12,14	0,6927	3,932	0,3277	2,163	3,060
3,0	29,42	2,206	4,079	12,56	0,7165	4,067	0,3390	2,237	3,165
3,2	31,38	2,354	4,351	13,40	0,7643	4,339	0,3616	2,386	3,376
3,4	33,34	2,501	4,623	14,24	0,8121	4,610	0,3841	2,535	3,587
3,6	35,30	2,648	4,895	15,07	0,8598	4,881	0,4067	2,685	3,798
3,8	37,27	2,795	5,167	15,91	0,9076	5,152	0,4293	2,834	4,009
4,0	39,23	2,942	5,438	16,75	0,9554	5,423	0,4519	2,983	4,220
4,2	41,19	3,089	5,710	17,58	1,003	5,694	0,4745	3,132	4,431
4,4	43,15	3,236	5,982	18,42	1,051	5,966	0,4971	3,281	4,642
4,6	45,11	3,383	6,254	19,26	1,099	6,237	0,5197	3,430	4,853
4,8	47,07	3,530	6,526	20,10	1,146	6,508	0,5423	3,579	5,064
5,0	49,03	3,677	6,798	20,93	1,194	6,779	0,5649	3,728	5,275
5,5	53,94	4,045	7,478	23,03	1,314	7,457	0,6214	4,101	5,803
6,0	58,84	4,413	8,158	25,12	1,433	8,135	0,6779	4,474	6,330
6,5	63,74	4,781	8,838	27,21	1,552	8,813	0,7344	4,847	6,858
7,0	68,65	5,148	9,517	29,31	1,672	9,491	0,7909	5,220	7,385
7,5	73,55	5,516	10,20	31,40	1,791	10,17	0,8474	5,593	7,913
8,0	78,45	5,884	10,88	33,49	1,911	10,85	0,9039	5,966	8,440
8,5	83,36	6,252	11,56	35,59	2,030	11,52	0,9604	6,338	8,968
9,0	88,26	6,619	12,24	37,68	2,150	12,20	1,017	6,711	9,496
9,5	93,16	6,987	12,92	39,77	2,269	12,88	1,073	7,084	10,02

La tabla es válida también para múltiplos y submúltiplos decimales.
Ejemplo: 3,8 CV = 2,795 kW; 38 CV = 27,95 kW.

Unidades de termotecnia

	Conversión de						
	$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ (1) $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}\cdot{}^\circ\text{R}}$ (1)	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{K}}$ (2)(4)	$\frac{\text{Btu}}{\text{s}\cdot\text{ft}\cdot{}^\circ\text{R}}$ (2)	$\frac{\text{Btu}}{\text{s}\cdot\text{ft}^2\cdot{}^\circ\text{R}}$ (3)	Btu/ft²	Btu/lb	Btu/ft³
↓	en kJ/(kg · K)	en W/(m · K)	en kW/(m · K)	en kW/(m² · K)	en kJ/m²	en kJ/kg	en kJ/m³
1,0	4,1868	1,1630	6,2306	20,442	11,357	2,3260	37,259
1,1	4,605	1,279	6,854	22,49	12,49	2,559	40,98
1,2	5,024	1,396	7,477	24,53	13,63	2,791	44,71
1,3	5,443	1,512	8,100	26,57	14,76	3,024	48,44
1,4	5,862	1,628	8,723	28,62	15,90	3,256	52,16
1,5	6,280	1,744	9,346	30,66	17,03	3,489	55,89
1,6	6,699	1,861	9,969	32,71	18,17	3,722	59,61
1,7	7,118	1,977	10,59	34,75	19,31	3,954	63,34
1,8	7,536	2,093	11,22	36,80	20,44	4,187	67,07
1,9	7,955	2,210	11,84	38,84	21,58	4,419	70,79
2,0	8,374	2,326	12,46	40,88	22,71	4,652	74,52
2,1	8,792	2,442	13,08	42,93	23,85	4,885	78,24
2,2	9,211	2,559	13,71	44,97	24,98	5,117	81,96
2,3	9,630	2,675	14,33	47,02	26,12	5,350	85,70
2,4	10,05	2.791	14,95	49,06	27,26	5,582	89,42
2,5	10,47	2,907	15,58	51,10	28,39	5,815	93,15
2,6	10,89	3,024	16,20	53,15	29,53	6,048	96,87
2,7	11,30	3,140	16,82	55,19	30,66	6,280	100,6
2,8	11,72	3,256	17,45	57,24	31,80	6,513	104,3
2,9	12,14	3,373	18,07	59,28	32,93	6,745	108,1
3,0	12,56	3,489	18,69	61,33	34,07	6,978	111,8
3,2	13,40	3,722	19,94	65,41	36,34	7,443	119,2
3,4	14,24	3,954	21,18	69,50	38,61	7,908	126,7
3,6	15,07	4,187	22,43	73,59	40,88	8,374	134,1
3,8	15,91	4,419	23,68	77,68	43,16	8,839	141,6
4,0	16,75	4,652	24,92	81,77	45,43	9,304	149,0
4,2	17,58	4,885	26,17	85,86	47,70	9,796	156,5
4,4	18,42	5,117	27,41	89,94	49,97	10,23	163,9
4,6	19,26	5,350	28,66	94,03	52,24	10,70	171,4
4,8	20,10	5,582	29,91	98,12	54,51	11,16	178,8
5,0	20,93	5,815	31,15	102,2	56,78	11,63	186,3
5,5	23,03	6,396	34,27	112,4	62,46	12,79	204,9
6,0	25,12	6,978	37,38	122,7	68,14	13,96	223,6
6,5	27,21	7,559	40,50	132,9	73,82	15,12	242,2
7,0	29,31	8,141	43,61	143,1	79,50	16,28	260,8
7,5	31,40	8,722	46,73	153,3	85,17	17,44	279,4
8,0	33,49	9,304	49,85	163,5	90,85	18,61	298,1
8,5	35,59	9,885	52,96	173,8	96,53	19,77	316,7
9,0	37,68	10,47	56,08	184,0	102,2	20,93	335,3
9,5	39,77	11,05	59,19	194,2	107,9	22,10	354,0

La tabla es válida también para los múltiplos y submúltiplos decimales.
Ejemplos: 2,9 k/cal/(m·h·k) = 3,373 W (m·k), 1,2 Btu/lb = 2,791 kJ/kg

(1) Capacidad caloríf. espec.
(2) Conductibilidad térmica
(3) Coef. de conductib. térmica
(4) 1 cal/(cm · s · k) = 360 kcal/(m · h · k) = 418,68 W/(m·K)

Unidades de temperatura

°C = grados Celsius, K = Kelvin,
°F = grados Fahrenheit, °R = grados Rankine

Conversión de temperaturas

$$T_K = (273{,}15\,^\circ\text{C} + t_C)\frac{\text{K}}{^\circ\text{C}} = \frac{5}{9}T_R$$

$$T_R = (459{,}67\,^\circ\text{F} + t_F)\frac{^\circ\text{R}}{^\circ\text{F}} = 1{,}8\,T_K$$

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32\,^\circ\text{F})\frac{^\circ\text{C}}{^\circ\text{F}} = (T_K - 273{,}15\,\text{K})\frac{^\circ\text{C}}{\text{K}}$$

$$t_F = (1{,}8\,t_C + 32\,^\circ\text{C})\frac{^\circ\text{F}}{^\circ\text{C}} = (T_R - 459{,}67\,^\circ\text{R})\frac{^\circ\text{F}}{^\circ\text{R}}$$

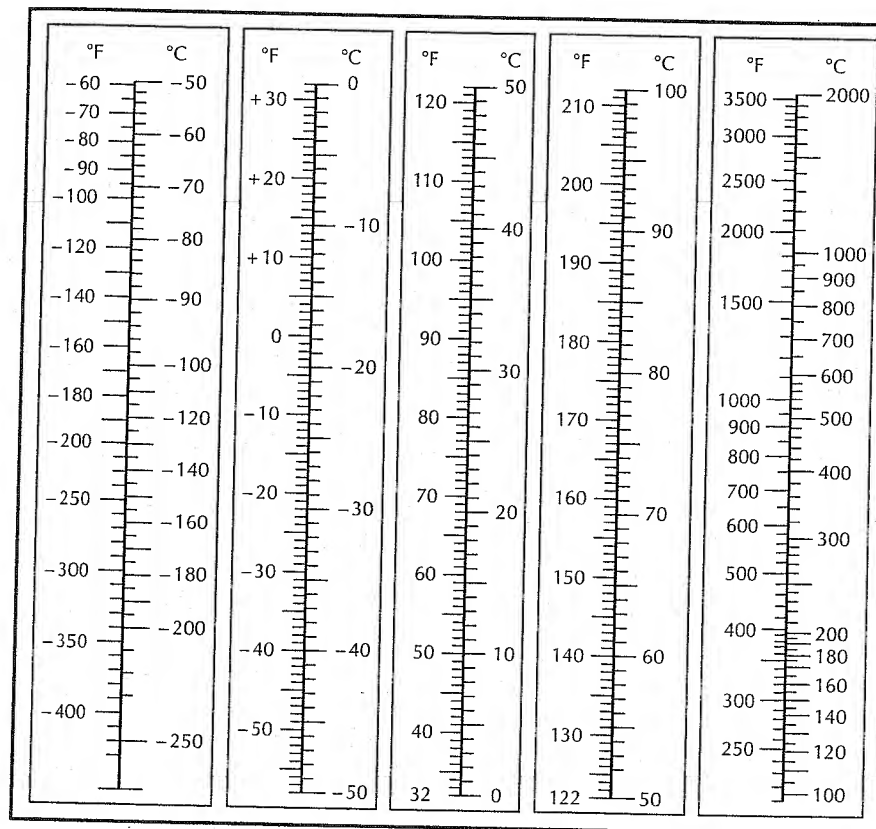
t_C, t_F, T_K y T_R significan temperaturas en °C, °F, K y °R.

Diferencias de temperatura
1K = 1 °C = 1,8 °F =1,8 °R

Puntos de cero: 0 °C ≙ 32 °F, 0 °F ≙ 17,78 °C.
Cero absoluto de temperatura
0 K ≙ –273,15 °C ≙ 0 °R ≙ –459,67 °F.

Escala práctica internacional de temperaturas
Punto de ebullición del oxígeno, –182,97 °C; punto triple del agua, 0,01 °C(1); punto de ebullición del agua, 100 °C; punto de ebullición del azufre, 444,6 °C; punto de solidificación de la plata, 960,8 °C; punto de solidificación del oro, 1063 °C.

(1) Temperatura a la que el agua pura subsiste simultáneamente en equilibrio en sus tres fases, hielo, agua y vapor (a 1013,25 hPa). Ver también la nota(2) a pie de pág. 10.



Unidades de viscosidad

Unidades legales de viscosidad cinemática ν

$1\ m^2/s = 1\ Pa \cdot s/(kg/m^3) = 10^4 cm^2/s = 10^6\ mm^2/s$

Unidades angloamericanas

$1\ ft^2/s = 0{,}092903\ m^2/s$

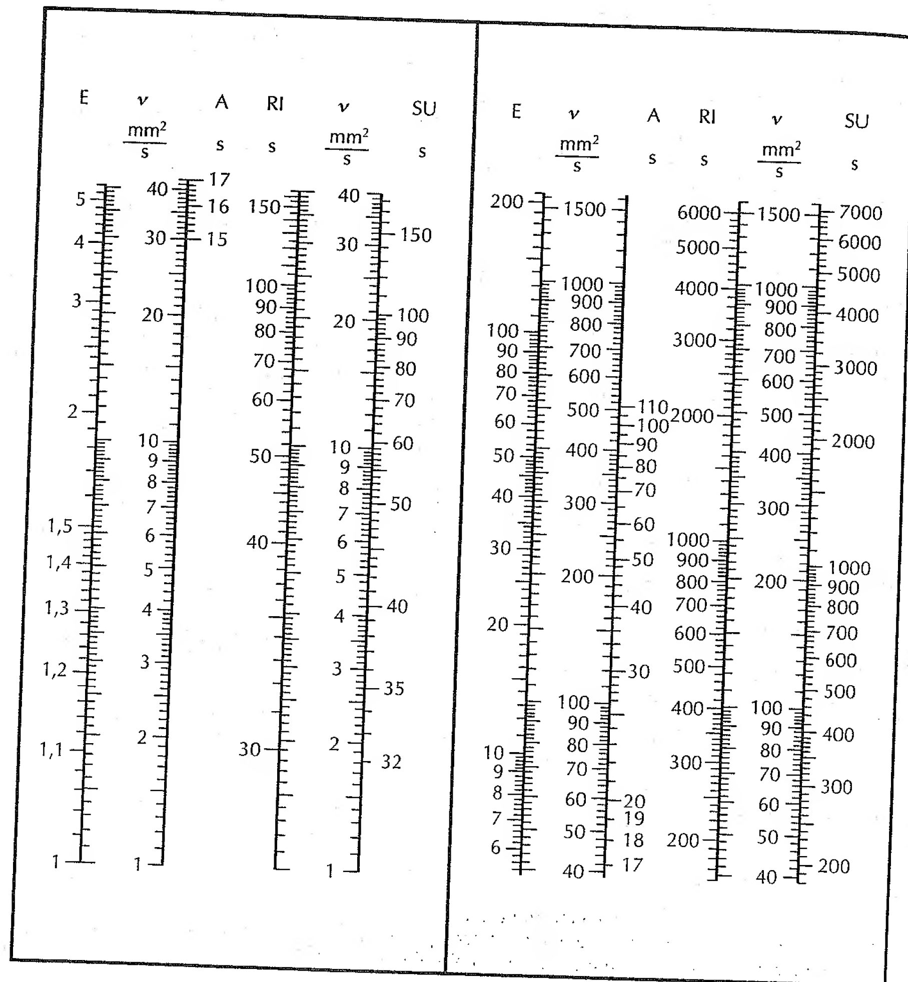
Rl-segundos = tiempo de salida del viscosímetro-I-Redwood (G.B.)
SU-segundos = tiempo de salida del viscosímetro universal Saybolt (EE.UU.)

En desuso

St (Stokes) = cm^2/s, cSt = mm^2/s

Unidades convencionales

E (grados Engler) = tiempo de salida relativo del aparato Engler DIN 51560
Para $\nu > 60\ mm^2/s$ es de $1\ mm^2/s = 0{,}132$ E. Los grados Engler por debajo de 3 E no dan una visión exacta del comportamiento de la viscosidad cinemática; puesto que, por ejemplo, un líquido de 2 E no tiene el doble sino 12 veces la viscosidad cinemática de una disolución de 1 E.
A-segundos = tiempo de salida del viscosímetro DIN 53 211.



Unidades de tiempo

Unidades[1]		s	min	h	d
1 s[2] (Segundo)	=	1	0,01667	$0{,}2778 \cdot 10^{-3}$	$11{,}574 \cdot 10^{-6}$
1 min (Minuto)	=	60	1	0,01667	$0{,}6944 \cdot 10^{-3}$
1 h (Hora)	=	3600	60	1	0,041667
1 d (Día)	=	86 400	1440	24	1

1 año civil = 365 (o 366) días = 8760 (8784) horas (para el cálculo de intereses en banca, 1 año = 360 días).
1 año solar[3] = 365,2422 días solares medios = 365 d 5 h 48 min 46 s.
1 año sidéreo[4] = 365,2564 días solares medios.

Decimales de hora y ángulo en minutos y segundos

h(°)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	min(′) y s(″)									
0,0	0′00″	0′36″	1′12″	1′48″	2′24″	3′00″	3′36″	4′12″	4′48″	5′24″
0,1	6′00″	6′36″	7′12″	7′48″	8′24″	9′00″	9′36″	10′12″	10′48″	11′24″
0,2	12′00″	12′36″	13′12″	13′48″	14′24″	15′00″	15′36″	16′12″	16′48″	17′24″
0,3	18′00″	18′36″	19′12″	19′48″	20′24″	21′00″	21′36″	22′12″	22′48″	23′24″
0,4	24′00″	24′36″	25′12″	25′48″	26′24″	27′00″	27′36″	28′12″	28′48″	29′24″
0,5	30′00″	30′36″	31′12″	31′48″	32′24″	33′00″	33′36″	34′12″	34′48″	35′24″
0,6	36′00″	36′36″	37′12″	37′48″	38′24″	39′00″	39′36″	40′12″	40′48″	41′24″
0,7	42′00″	42′36″	43′12″	43′48″	44′24″	45′00″	45′36″	46′12″	46′48″	47′24″
0,8	48′00″	48′36″	49′12″	49′48″	50′24″	51′00″	51′36″	52′12″	52′48″	53′24″
0,9	54′00″	54′36″	55′12″	55′48″	56′24″	57′00″	57′36″	58′12″	58′48″	59′24″
1,0	60′00″									

Ejemplos: 0,58 h = 34 min 48 s; 0,58° = 34′ 48″; 12,46° = 12° 27′ 36″

Minutos en decimales de hora o grado (o segundos en decimales de minuto)

min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	h o bien °									
0	–	0,017	0,033	0,050	0,067	0,083	0,100	0,117	0,133	0,150
10	0,167	0,183	0,200	0,217	0,233	0,250	0,267	0,283	0,300	0,317
20	0,333	0,350	0,367	0,383	0,400	0,417	0,433	0,450	0,467	0,483
30	0,500	0,517	0,533	0,550	0,567	0,583	0,600	0,617	0,633	0,650
40	0,667	0,683	0,700	0,717	0,733	0,750	0,767	0,783	0,800	0,817
50	0,833	0,850	0,867	0,883	0,900	0,917	0,933	0,950	0,967	0,983
60	1,000									

Segundos en decimales de hora o de grado

s (″)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
h (°)	0,001	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,010	0,011	0,012	0,014	0,015	0,017

Ejemplo: 32 min = 0,533 h, ó 0,533°; 14 min 45 s = 0,233 + 0,012 h = 0,265 h o bien 0,245°

(1) Ver también pág. 13.
(2) Unidad básica del SI, ver definición en pág.10.
(3) Tiempo entre dos pasos consecutivos de la Tierra por el equinoccio de primavera.
(4) Tiempo real que la Tierra tarda en dar una vuelta alrededor del sol.

Velocidades

1 km/h = 0,27778 m/s
1 milla/h = 1,60934 km/h
1 kn (K_{nudo}) = 1,852 km/h
1 ft/min = 0,3048 m/min

1 m/s = 3,6 km/h
1 km/h = 0,62137 millas/h
1 km/h = 0,53996 kn
1 m/min = 3,28084 ft/min

x km/h $\triangleq \frac{60}{x}$ min/km $\triangleq \frac{3600}{x}$ s/km

x milla/h $\triangleq \frac{37{,}2824}{x}$ min/km $\triangleq \frac{2236{,}9}{x}$ s/km

x s/km $\triangleq \frac{3600}{x}$ km/h (ver tabla en la página siguiente)

	Conversión de km/h en m/s	m/s en km/h	km/h en millas/h	millas/h (mph) en km/h	kn en km/h	ft/min en m/min	km/h en Tiempo/km	millas/h (mph) en Tiempo/km	km/h en Tiempo/100 km
10	2,78	36,0	6,21	16,1	18,52	3,05	6 min	3 min 44 s	10 h
20	5,56	72,0	12,4	32,2	37,04	6,10	3 min	1 min 52 s	5 h
30	8,33	108	18,6	48,3	55,56	9,14	2 min	1 min 15 s	3 h 20 min
40	11,1	144	24,9	64,4	74,08	12,2	1 min 30 s	55,9 s	2 h 30 min
50	13,9	180	31,1	80,5	92,60	15,2	1 min 12 s	44,7 s	2 h
60	16,7	216	37,3	96,6	111	18,3	1 min	37,3 s	1 h 40 min
70	19,4	252	43,5	113	130	21,3	51,4 s	32,0 s	1 h 26 min
80	22,2	288	49,7	129	148	24,4	45 s	28,0 s	1 h 15 min
90	25,0	324	55,9	145	167	27,4	40 s	24,9 s	1 h 6,7 min
100	27,8	360	62,1	161	185	30,5	36 s	22,4 s	1 h
110	30,6	396	68,4	177	–	33,5	32,7 s	20,3 s	54 min 33 s
120	33,3	432	74,6	193	–	36,6	30 s	18,6 s	50 min
130	36,1	468	80,8	209	–	39,6	27,7 s	17,2 s	46 min 9 s
140	38,9	504	87,0	225	–	42,7	25,7 s	16,0 s	42 min 51 s
150	41,7	540	93,2	241	–	45,7	24 s	14,9 s	40 min
160	44,4	576	99,4	257	–	48,8	22,5 s	14,0 s	37 min 30 s
170	47,2	612	106	274	–	51,8	21,2 s	13,2 s	35 min 18 s
180	50,0	648	112	290	–	54,9	20,0 s	12,4 s	33 min 20 s
190	52,8	684	118	306	–	57,9	18,9 s	11,8 s	31 min 35 s
200	55,6	720	124	322	–	61,0	18 s	11,2 s	30 min
250	69,4	900	155	402	–	76,2	14,4 s	8,9 s	24 min
300	83,3	1080	186	483	–	91,4	12 s	7,5 s	20 min
400	111	1440	249	644	–	122	9 s	5,6 s	15 min
500	139	1800	311	805	–	152	7,2 s	4,5 s	12 min
600	167	2160	373	966	–	183	6 s	3,7 s	10 min
800	222	2880	497	1287	–	244	4,5 s	2,8 s	7 min 30 s
1000	278	3600	621	1609	–	305	3,6 s	2,2 s	6 min
1200	333[1]	–	746	–	–	366	3 s	–	5 min
1400	389	–	870	–	–	427	2,6 s	–	4 min 17 s

El número de Mach, *Ma*, indica cuantas veces se mueve un cuerpo más deprisa que el sonido. *Ma* = 1,3 significa pues 1,3 veces la velocidad del sonido.

[1] Aproximadamente la velocidad del sonido en el aire.

Conversión del tiempo cronometrado en 1 km (s/km) en velocidad (km/h)

s/km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Velocidad en km/h									
10	360	327	300	277	257	240	225	212	200	189
20	180	171	164	157	150	144	138	133	129	124
30	120	116	113	109	106	103	100	97	95	92
40	90	88	86	84	82	80	78	77	75	73
50	72	71	69	68	67	65	64	63	62	61
60	60	59	58	57	56	55	55	54	53	52
70	51	51	50	49	49	48	47	47	46	46
80	45	44	44	43	43	42	42	41	41	40
90	40	40	39	39	38	38	38	37	37	36

Ejemplo: Tiempo cronometrado en un kilómetro, 41 s/km, corresponde a una velocidad de marcha de 88 km/h.

Horas

A las 12 horas de Europa Central los husos horarios tienen la hora siguiente[1];

Hora	Meridiano huso horario	Países (Ejemplos)
	Longitud oeste	
1.00	150°	Alaska
3.00	120°	Costa Occ. de Canadá y EE.UU:
4.00	105°	Al oeste de la zona central del Canadá y EE.UU.
5.00	90°	Zona central del Canadá y EE.UU., Méjico, América Central
6.00	75°	Canadá entre los 68° y 90° Este de EE.UU., Ecuador, Colombia, Panamá, Perú
7.00	60°	Canadá al oeste de los 68°, Bolivia, Chile, Venezuela
8.00	45°	Argentina, Brasil, Groenlandia, Paraguay, Uruguay
11.00	0°	**Hora de Europa Occidental**[2] Gran Bretaña, Irlanda, Islas Canarias, Portugal, África Occidental

Hora	Meridiano huso horario	Países (Ejemplos)
	Longitud este	
12.00	15°	**Hora de Europa Central** Bélgica, Dinamarca, Alemania, Francia, Italia, Yugoslavia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Austria, Polonia, Suecia, Suiza, España, Checoslovaquia, Hungría; Argelia, Israel, Libia, Nigeria, Túnez, Zaire.
13.00	30°	**Hora de Europa Oriental** Bulgaria, Finlandia, Grecia, Rumania; Egipto, Líbano, Jordania, Sudán, Sudáfrica, Siria.
14.00	45°	Rusia Occidental, Turquía, Irak, Arabia Saudita, África Oriental.
14.30	52,5°	Irán
16.30	82,5°	India, Sri Lanka
18.00	105°	Indonesia, Camboya, Laos, Tailandia, Vietnam.
19.00	120°	Costa china, Filipinnas, Australia Occidnetal
20.00	135°	Japón, Corea
20.30	142,5°	Sur y norte de Australia
21.00	150°	Australia Oreintal

[1] En los países con hora de verano se adelanta 1 hora el reloj con respecto al huso horario, durante los meses de verano (al norte del Ecuador, aproximadamente de abril hasta septiembre; al sur del Ecuador, aprox. de octubre hasta marzo)
[2] TU, tiempo universal (UT, Universal Time), hora civil media del meridiano cero (de Greenwich), o TUC, tiempo universal coordinado, definido por el segundo atómico (invariable) del Sistema Internacional de Unidades (ver pág. 10).

Puesto que la velocidad de rotación de la Tierra disminuye lentamente con el transcurso de los años, se ajusta la coincidencia del TUC al TU introduciendo un segundo intercalado. (La última vez el 31.12.1995.)

Consumo de combustible

1 g/CV · h = 1,3596 g/kW · h
1 lb/hp · h = 608,277 g/kW · h
1 liq pt/hp · h = 634,545 cm³/kW · h
1 pt (UK)/hp · h = 762,049 cm³/kW · h

x millas/gal (US) ≙ $\frac{235{,}21}{x}$ l/100 km

x millas/gal (US) ≙ $\frac{238{,}48}{x}$ l/100 km

1 g/kW · h = 0,7355 g/CV · h
1 g/kW · h = 0,001644 lb/hp · h
1 cm³/kW · h = 0,001576 liq pt/hp · h
1 cm³/kW · h = 0,001312 pt (UK)/hp · h

x l/100 km ≙ $\frac{235{,}21}{x}$ millas/galón (EE.UU.)

x l/100 km ≙ $\frac{238{,}48}{x}$ millas/galón (G.B.)

Para los nombres de las unidades angloamericanas ver las páginas 22 y 30.

	Conversión de: g/CV · h en g/kW · h	Conversión de: g/kW · h en g/CV · h
100	136,0	73,55
120	163,2	88,26
140	190,3	103,0
160	217,5	117,7
180	244,7	132,4
200	271,9	147,1
220	299,1	161,8
240	326,3	176,5
260	353,5	191,2
280	380,7	205,9
300	407,9	220,6
320	435,1	235,4
340	462,3	250,1
360	489,5	264,8
380	516,6	279,5
400	543,8	294,2
420	571,0	308,9
440	598,2	323,6
460	625,4	338,3
480	652,6	353,0
500	679,8	367,7
520	707,0	382,5
540	734,2	397,2
560	761,4	411,9
580	788,6	426,6
600	815,8	441,3
650	883,7	478,1
700	951,7	514,8
750	1020	551,6
800	1088	588,4
900	1224	661,9

Ejemplo: 240 g/CV · h = 326,3 g/kW·h

	Conversión de: lb/hp · h en g/kW · h	liq pt/hp · h en cm³/kW · h	pt (UK)/hp · h en cm³/kW · h
0,10	60,83	63,45	76,20
0,15	91,24	95,18	114,3
0,20	121,7	126,9	152,4
0,25	152,1	158,6	190,5
0,30	182,5	190,4	228,6
0,32	194,6	203,1	243,9
0,34	206,8	215,7	259,1
0,36	219,0	228,4	274,3
0,38	231,1	241,1	289,6
0,40	243,3	253,8	304,8
0,42	255,5	266,5	320,1
0,44	267,6	279,2	335,3
0,46	279,8	291,9	350,5
0,48	292,0	304,6	365,8
0,50	304,1	317,3	381,0
0,52	316,3	330,0	396,3
0,54	328,5	342,7	411,5
0,56	340,6	355,3	426,7
0,58	352,8	368,0	442,0
0,60	365,0	380,7	457,2
0,62	377,1	393,4	472,5
0,64	389,3	406,1	487,7
0,66	401,5	418,8	503,0
0,68	413,6	431,5	518,2
0,70	425,8	444,2	533,4
0,75	456,2	475,9	571,5
0,80	486,6	507,6	609,6
0,85	517,0	539,4	647,7
0,90	547,4	571,1	685,8
0,95	577,9	602,8	723,9

Ejemplo: 0,68 liq pt/hp·h = 431,5 cm³/kW·h

	Conversión de: millas/gal (US) en l/100 km	millas/gal (UK) en l/100 km
10	23,5	28,2
11	21,4	25,7
12	19,6	23,5
13	18,1	21,7
14	16,8	20,2
15	15,7	18,8
16	14,7	17,7
17	13,8	16,6
18	13,1	15,7
19	12,4	14,9
20	11,8	14,1
22	10,7	12,8
24	9,80	11,8
26	9,05	10,9
28	8,40	10,1
30	7,84	9,42
32	7,35	8,83
34	6,92	8,31
36	6,53	7,85
38	6,19	7,43
40	5,88	7,06
42	5,60	6,73
44	5,35	6,42
46	5,11	6,14
48	4,90	5,88
50	4,70	5,65
55	4,28	5,14
60	3,92	4,71
70	3,36	4,04
80	2,94	3,53
90	2,61	3,14

Ejemplo: 18 millas/galón (US) = 13,1 l/ 100 km

Oscilaciones

Símbolos y unidades

Magnitud		Unidad
a	Coef. acumulación	
b	Coef. amortiguación	
c	Coef. acumulación	
c	Constante muelle	N/m
c_α	Rigidez de torsión	N · m/rad
C	Capacidad	F
f	Frecuencia	Hz
f_g	Frecuencia de resonancia	Hz
Δf	Anchura media	Hz
F	Fuerza	N
F_Q	Función de excitación	
I	Corriente	A
J	Momento de inercia	kg · m²
L	Autoinducción	H
m	Masa	kg
M	Par de giro	N · m
n	Número de revoluciones	1/min
Q	Carga	C
Q	Nitidez de resonancia	
r	Constante de amortiguación	N · s/m
r_α	Const. amortiguación de revoluciones	N · s · m
R	Resistencia óhmica	Ω
t	Tiempo	s
T	Duración del período	s
U	Tensión eléctrica	V
v	Velocidad de oscilación	m/s
x	Recorrido	
y	Valor instantáneo	
$\hat{y}$	Amplitud	
$\dot{y}(\ddot{y})$	Derivada simple (doble) según el tiempo	
y_{rec}	Valor de rectificación	
y_{eff}	Valor efectivo	
α	Ángulo	rad
δ	Coeficiente de decrecimiento	1/s
Λ	Decremento logarítmico	
ω	Velocidad angular	rad/s
ω	Frecuencia circular (pulsación)	1/s
Ω	Frecuencia circular del excitador	1/s
ϑ	Grado de amortiguación	
ϑ_{opt}	Grado óptimo de amortiguación	

Indices:	
0	Autooscilación no amortiguada
d	Autooscilación amortiguada
T	Amortiguador
U	Base
G	Aparato

Conceptos

(ver también DIN 1311)

Oscilación
Se llama oscilación a la variación de una magnitud física, que se repite más o menos regularmente con el tiempo y cuyo sentido cambia con la misma regularidad.

Duración de una oscilación (período)
Es el tiempo que transcurre en una oscilación completa (período).

Amplitud
Amplitud es el valor instantáneo máximo ("vértice") de una magnitud física que siga una oscilación sinusoidal.

Frecuencia
Es el valor inverso del período T, es pues el número de oscilaciones por segundo $f = 1/T$.

Frecuencia circular (pulsación)
Es el número de oscilaciones en 2π segundos, $\omega = 2\pi f$

Velocidad de la oscilación
Es el valor instantáneo de la velocidad variable de una partícula en el sentido de su oscilación. No debe confundirse con la velocidad de propagación de una onda que avanza (por ejemplo, con la velocidad de la luz).

Serie de Fourier
Toda función periódica, que de forma periódica es monótona y continua, se puede representar como suma de oscilaciones sinusoidales y cosinusoidales de la oscilación fundamental y sus armónicas superiores.

Pulsaciones
Se originan pulsaciones cuando se sobreponen dos oscilaciones sinusoidales cuyas frecuencias no difieren mucho entre sí. La pulsación también es sinusoidal y su frecuencia igual a la diferencia de las frecuencias de base.

Oscilaciones propias
Son aquellas cuya frecuencia sólo depende de las propiedades del sistema que oscila.

Amortiguación
Es una medida de la pérdida de energía de un oscilador por transformación de una forma de energía en otra.

Disminución logarítmica
Logaritmo natural de la relación entre dos valores extremos de una autooscilación separados por la duración de un período.

Grado de amortiguación
Medida de la amortiguación.

Oscilaciones forzadas
Las oscilaciones forzadas surgen por efecto de una magnitud física exterior (excitación) que no modifica las características del oscilador. Su frecuencia se determina por la de la excitación.

Función de transmisión
El valor de la función de transmisión es la relación entre la amplitud de la magnitud que se examina y la de la excitación expresada por la frecuencia del excitador.

Resonancia
Fenómeno que tiene lugar cuando la frecuencia de la fuerza que actúa desde el exterior coincide con la frecuencia propia del sistema.

Frecuencia de resonancia
La frecuencia de resonancia es la frecuencia de excitación, en la cual el oscilador adopta su valor máximo.

Anchura media (valor del intervalo medio)
La semianchura es la diferencia entre las frecuencias, en las cuales la magnitud ha bajado a un valor de $1/\sqrt{2} \approx 0{,}707$ de su valor máximo.

Nitidez de resonancia
La nitidez de resonancia, o factor de calidad, es el valor máximo de la función de transmisión.

Acoplamiento
Cuando se acoplan entre sí dos sistemas oscilantes —mecánicamente por las masas o la elasticidad, eléctricamente por influencia inductiva o capacitativa— tiene lugar un intercambio periódico de energía entre los sistemas.

Onda
Onda es una modificación del estado de propagación por el espacio por el cual se transporte energía. Hay ondas transversales (como las de las cuerdas, o el agua) y ondas longitudinales (como las del sonido en el aire).

Interferencia
Principio de la superposición no impedida de ondas. Si varias coinciden en un punto determinado del espacio en el mismo instante, la amplitud que allí resulta es igual a la suma de las amplitudes de cada una de las distintas ondas.

Ondas estacionarias
Son las que se producen por interferencia de ondas de la misma frecuencia que van en sentidos opuestos con la misma longitud de onda y amplitud. A diferencia de las ondas que se propagan y avanzan, la amplitud de la onda estacionaria es constante en cada lugar; se forman "Vientres" (amplitud máxima) y "Nodos" (amplitud cero). Las ondas estacionarias se forman pues por reflexión de un tren de ondas sobre sí mismas, cuando la resistencia de las ondas del medio de propagación es muy diferente de la resistencia del medio de reflexión. Si la resistencia final es igual a la resistencia de onda, no hay reflexión.

Valor de rectificación
Valor medio aritmético lineal temporal de los de una señal periódica.

$$y_{rec} = (1/T)\int_0^T |y|\, dt$$

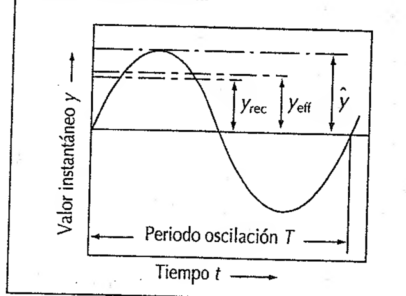
Para una curva sinusoidal es:

$$y_{rec} = 2\hat{y}/\pi \approx 0{,}637\hat{y}$$

Valor efectivo
Es el valor medio cuadrático temporal de una señal periódica.

$$y_{eff} = \sqrt{(1/T)\int_0^T y^2\, dt}$$

Oscilación sinusoidal



Para una curva sinusoidal es

$$y_{eff} = \hat{y}/\sqrt{2} \approx 0{,}707\hat{y}$$

Factor de forma $= \hat{y}/y_{rec}$
Para una curva sinusoidal es

$y_{eff}/y_{rec} \approx 1{,}111$.

Factor de amplitud $= \hat{y}/y_{eff}$
Para una curva sinusoidal es

$\hat{y}/y_{eff} = \sqrt{2} \approx 1{,}414$.

Ecuaciones
Las ecuaciones son válidas para los siguientes osciladores sencillos, si se aplican en las fórmulas las magnitudes físicas correspondientes.

Sistemas sencillos de oscilación

	mecánico		eléctrico
	traslatorio	giratorio	
Desig. gral.	Magnitud física		
y	x	α	Q
$\dot{y}$	$\dot{x} = v$	$\dot{\alpha} = \omega$	$\dot{Q} = I$
$\ddot{y}$	$\ddot{x} = \dot{v}$	$\ddot{\alpha} = \dot{\omega}$	$\ddot{Q} = \dot{I}$
F_Q	F	M	U
a	m	J	L
b	r	r_α	R
c	c	c_α	$1/C$

Ecuaciones diferenciales

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F_Q(t) = \hat{F}_Q \text{ sen } \Omega t$$

Periodo oscilación $T = 1/f$
Frecuencia circular $\omega = 2\pi f$
Oscilación sinusoidal (p.ej. recorrido de oscilación)

$$y = \hat{y} \text{ sen } \omega t$$

Primera derivación (p.ej. velocidad de oscilación)

$$\dot{y} = dy/dt = \omega\hat{y} \cos \omega t = \omega\hat{y} \text{ sen } (\omega t + \pi/2)$$

Segunda derivación (p.ej. aceleración de oscilación)

$$\ddot{y} = d^2y/dt^2$$
$$= -\omega^2\hat{y} \text{ sen } \omega t = \omega^2\hat{y} \text{ sen } (\omega t + \pi)$$

Oscilaciones libres ($F_Q = 0$)
Disminución logarítmica

$$\Lambda = \ln(y_n/y_{n+1}) = \pi b/\sqrt{ca - b^2/4}$$

Coeficiente de decrecimiento $\delta = \beta/(2a)$
Grado de amortiguación

$$\vartheta = \delta/\omega_0 = b/(2\sqrt{ca})$$

$$\vartheta = \Lambda/\sqrt{\Lambda^2 + 4\pi^2} \approx \Lambda/(2\pi)$$

(amortiguación pequeña)

Frecuencia circular de la oscilación no amortiguada ($\vartheta = 0$) $\omega_0 = \sqrt{c/a}$

Frecuencia circular de la oscilación amortiguada ($0 < \vartheta < 1$) $\omega_d = \omega_0\sqrt{1 - \vartheta^2}$

Para $\vartheta \geq 1$ no hay oscilaciones sino arrastre.

Oscilaciones forzadas
Valor de la función de transmisión

$$\hat{y}/\hat{F}_Q = 1/\sqrt{(c - a\Omega^2)^2 + (b\Omega)^2}$$

$$= (1/c)/\sqrt{(1 - (\Omega/\omega_0)^2)^2 + (2\vartheta\Omega/\omega_0)^2}$$

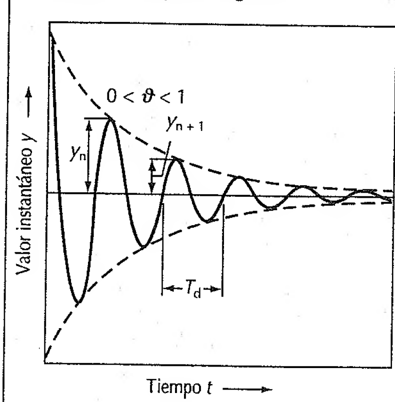
Frecuencia de resonancia

$$f_g = f_0\sqrt{1 - 2\vartheta^2} < f_0$$

Nitidez de resonancia $q = 1/(2\vartheta\sqrt{1 - \vartheta^2})$

Para osciladores poco amortiguados ($\theta \leq 0{,}1$):
Frecuencia de resonancia $f_g \approx f_0$
Nitidez de resonancia $Q \approx 1/(2\vartheta)$
Semianchura $\Delta f = 2\vartheta f_0 = f_0/Q$

Oscilación libre y amortiguación



Reducción de oscilaciones

Aislamiento de oscilación

Aislamiento activo de oscilación
Los aparatos tienen que sujetarse de tal forma que las fuerzas transmitidas a la base (el apoyo) sean pequeñas. Medida: ajuste bajo de la sujeción, para que la frecuencia natural sea inferior a la menor frecuencia de excitación. La amortiguación empeora el aislamiento, pero valores demasiado pequeños pueden producir por resonancia dificultades en los aceleramientos.

Aislamiento pasivo de oscilación
Los aparatos tienen que ser colocados de tal forma que las vibraciones de la base les lleguen sólo en forma reducida. Son necesarias las mismas medidas que en el aislamiento activo. Sin embargo, si el amortiguamiento solamente puede hacerse entre el aparato y un punto estático, entonces tiene que ser grande (véase función de transmisión $\hat{X}_G/\hat{X}_U$ en oscilaciones forzadas).

En muchos casos no son realizables ni una sujeción suave ni una amortiguación extremas. Para que no se produzcan resonancias, la rigidez de la sujeción debe ser tal que su frecuencia natural sea muy superior a la frecuencia máxima de excitación que pueda aparecer.

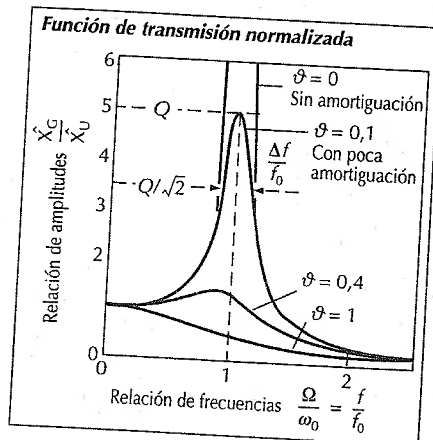
Anulación de oscilación

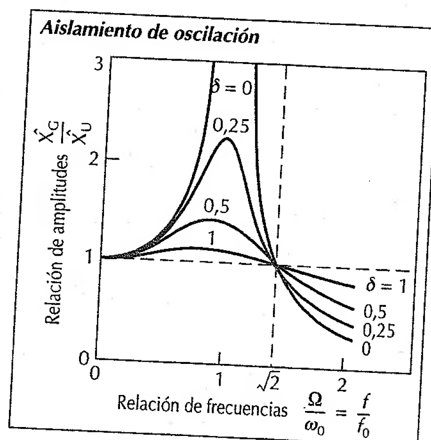
Anulador con frecuencia natural fija
Sincronizando la frecuencia natural ω_T (frecuencia de anulación) de una masa elástica (anuladora) acoplada sin pérdida de libertad a la frecuencia de la excitación, se anulan por completo las oscilaciones de la masa principal de modo que sólo oscila la masa anuladora. El efecto de ésta disminuye si se altera la frecuencia de la excitación. Se determina por la variación de la función de transmisión de la masa principal (pendiente, distancia a las frecuencia de resonancia). Las funciones de transmisión de las masas principal y anuladora, respectivamente, dependen de la clase de sincronismo (masa, constante elástica) del anulador.

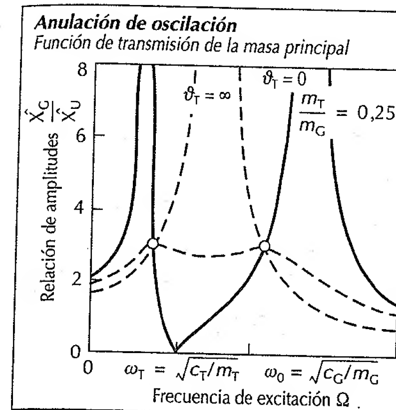
La amortiguación impide la anulación. Sin embargo, la sincronización apropiada de la frecuencia del anulador y el grado óptimo de amortiguamiento ensanchan el campo de disminución de las oscilaciones que se mantiene eficaz con la variación de la frecuencia de excitación.

Anulador con frecuencia natural variable
Las oscilaciones de torsión con frecuencia proporcional a las revoluciones en los motores de velocidad variable se pueden impedir con su anulador de frecuencia natural proporcional a las revoluciones (péndulo centrífugo). La anulación es eficaz a cualquier número de revoluciones.

También es posible la eliminación mediante osciladores con varios grados de libertad, continuos y con diversas masas de anulación.







Análisis modal

El comportamiento dinámico (comportamiento de oscilación) de una estructura mecánica es predecible mediante un modelo matemático. Mediante el análisis modal se obtienen los parámetros modelo de uno de los posibles modelos (modelo modal). Se presupone una estructura invariable en el tiempo y elástica linealmente. Las oscilaciones se consideran solamente en un número limitado de puntos en las posibles direcciones de oscilación (grados de libertad) y en un intervalo definido de frecuencias. Luego, en análisis modal se sustituye de forma inequívoca la estructura continua por una cantidad definida de osciladores de masa unitaria. Cada oscilador es definido completa e inequívocamente mediante un vector propio y un valor propio. El vector propio (forma del modo y de la frecuencia natural) describe las amplitudes y fases relativas de todos los grados de libertad. El valor propio describe el comportamiento en el tiempo (oscilación armónica amortiguada). Cada oscilación de la estructura se puede sintetizar con los vectores y valores propios calculados.

El modelo modal no solamente describe el estado dinámico actual, sino que también crea la base para el cálculo de simulaciones:

En el cálculo de la reacción se calcula la de la estructura a una excitación definida, la cual p.ej. corresponde a las condiciones del campo de pruebas. Mediante modificaciones en la estructura (variaciones en la masa, amortiguación o rigidez) se puede optimizar el comportamiento sobre las condiciones de utilización. El acoplamiento de la subestructura, la cual profundiza aún más, resume p.ej. modelos modales de diferentes estructuras en un modelo conjunto.

El modelo modal puede ser obtenido de forma analítica o experimental. El punto de partida es siempre un modelo equivalente al modelo modal. Los análisis modales analíticos y experimentales se complementan entre ellos. Si se coordinan entre sí los modelos modales de ambos procedimientos, entonces el modelo modal de un análisis modal analítico con su mayor número de grados de libertad es más exacto que un análisis modal experimental. Esto es válido en especial para los cálculos de simulación basados en el modelo.

Análisis modal analítico

Para el análisis modal analítico se tienen que conocer los datos sobre la geometría, el material y las condiciones marginales. Según la estructura se puede elaborar con ellos un sistema de cuerpos múltiples o un modelo de una cantidad finita de elementos. Un sistema lineal de ecuaciones diferenciales de segundo orden describe al modelo correspondiente de movimientos. Transformado en un problema propio, permite obtener los vectores propios y los valores propios. El análisis modal analítico no requiere muestras y por ello puede ser utilizado en una fase temprana del desarrollo. Sin embargo, a menudo faltan conocimientos exactos sobre cualidades importantes de la estructura (amortiguaciones, condiciones marginales), de manera que dicho modelo modal puede ser muy inexacto. Además el error es desconocido.

Análisis modal experimental

El análisis modal experimental se basa en mediciones. No son necesarios los conocimientos sobre la estructura, pero sí una muestra y unos puntos de medición accesibles. Entonces se miden o invierten p.ej., en el rango de frecuencias que interesa, a las funciones de transmisión desde un punto de excitación hacia diferentes puntos de respuesta. El modelo modal se deduce de la matriz de las funciones de transmisión (que describe al modelo de respuestas). Describe al comportamiento dinámico de la estructura con exactitud suficiente, a pesar de tener pocos grados de libertad.

Ecuaciones fundamentales de la mecánica

Para los nombres de las unidades ver páginas 12-16.

Símbolo	Magnitud	Unidad SI
A	Superficie	m^2
a	Aceleración	m/s^2
a_{ct}	Aceleración centrífuga	m/s^2
d	Diámetro	m
E	Energía	J
E_k	Energía cinética	J
E_p	Energía potencial	J
F	Fuerza	N
F_{ct}	Fuerza centrífuga	N
G	Fuerza del peso	N
g	Acel. gravedad ($g = 9{,}81\ m/s^2$, v. p. 11)	m/s^2
h	Altura	m
i	Radio de inercia	m
J	Momento de inercia (Mom. masa 2° grado)	$kg \cdot m^2$
L	Impulso giro, torsión	$N \cdot s \cdot m$
l	Longitud	m
M	Momento giro	$N \cdot m$

Símbolo	Magnitud	Unidad SI
m	Masa (peso)	kg
n	Núm. revoluciones	s^{-1}
P	Potencia	W
p	Impulso	$N \cdot s$
r	Radio	m
s	Espacio recorr. (distancia)	m
T	Durac. per., tiem. invert. en 1 vuelta	s
t	Tiempo	s
V	Volumen	m^3
v	Velocidad v_1 vel. inicial v_2 vel. final v_m vel. media	m/s
W	Trabajo, energía	J
α	Aceleración ang.	rad/s^2 [1]
ε	Ángulo abarcado	rad [1]
μ	Coef. rozamiento	
ρ	Densidad	kg/m^3
φ	Ángulo de rotación	rad [1]
ω	Velocidad angular	rad/s [1]

Ecuaciones con magnitudes y ecuaciones con valores numéricos

Las ecuaciones que siguen, cuando no se indique lo contrario, son ecuaciones con magnitudes, es decir, las magnitudes se pueden poner en cualesquiera unidades (por ejemplo, en las unidades SI dadas arriba). La unidad de la magnitud que hay que calcular resulta de las magnitudes elegidas para los elementos de la ecuación.

En algunos casos se toman ecuaciones con valores numéricos para unidades corrientes (por ejemplo, tiempo en segundos s, pero la velocidad en km/h). Se caracterizan con el nombre de "ecuaciones con valores numéricos" y sólo son válidas para las unidades que figuran en la ecuación.

Movimiento rectilíneo

Movimiento rectilíneo uniforme

Velocidad
$v = s/t$

Movimiento uniformemente acelerado

Velocidad media
$v_m = (v_1 + v_2)/2$

Aceleración
$a = (v_2 - v_1)/t = (v_2^2 - v_1^2)/(2\,s)$

Ecuación con valores numéricos:
$a = (v_2 - v_1)/(3{,}6\,t)$
a en m/s^2, v_2 y v_1 en km/h, t en s

Espacio recorrido en el tiempo t
$s = v_m \cdot t = v_1 \cdot t + (a \cdot t^2)/2$
$= (v_2^2 - v_1^2)/(2\,a)$

Velocidad final
$v_2 = v_1 + a \cdot t = \sqrt{v_1^2 + 2\,a \cdot s}$

Velocidad inicial
$v_1 = v_2 - a \cdot t = \sqrt{v_2^2 - 2\,a \cdot s}$

En el movimiento uniformemente retardado (v_2 más pequeño que v_1), a es negativa.
Si se acelera desde el reposo, $v_1 = 0$. Cuando se retarda hasta el reposo, $v_2 = 0$.

(1) La unidad rad (= m/m) puede substituirse por 1.

Fuerza
$F = m \cdot a$

Trabajo, energía
$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = P \cdot t$

Energía potencial (energía de posición)
$E_p = G \cdot h = m \cdot g \cdot h$

Energía cinética (energía del movimiento)
$E_k = m \cdot v^2/2$

Potencia
$P = W/t = F \cdot v$

Potencia elevadora
$P = m \cdot g \cdot v$

Impulso
$p = m \cdot v$

Movimiento circular

Movimiento circular uniforme

Velocidad tangencial
$v = r \cdot \omega$

Ecuaciones con valores numéricos:
$v = \pi \cdot d \cdot n/60$
v en m/s, d en m, n en min^{-1}
$v = 6 \cdot \pi \cdot d \cdot n/100$
v en km/h, d en m, n en min^{-1}

Velocidad angular
$\omega = \varphi/t = v/r = 2\pi \cdot n$

Ecuación con valores numéricos:
$\omega = \pi \cdot n/30$
ω en s^{-1}, n en min^{-1}

Movimiento circular uniformemente acelerado

Aceleración angular
$\alpha = (\omega_2 - \omega_1)/t$

Ecuaciones con valores numéricos:
$\alpha = \pi(n_2 - n_1)/(30\,t)$
α en $1/s^2$, n_1 y n_2 en min^{-1}, t en s

Velocidad angular final
$\omega_2 = \omega_1 + \alpha \cdot t$

Velocidad angular inicial
$\omega_1 = \omega_2 - \alpha \cdot t$

En el momento circular uniformemente retardado (ω_2 menor que ω_1), α es negativa.

Fuerza centrífuga
$F_{ct} = m \cdot r \cdot \omega^2 = m \cdot v^2/r$

Aceleración centrífuga
$a_{ct} = r \cdot \omega^2$

Momento de giro
$M = F \cdot r = P/\omega$

Ecuación con valores numéricos:
$M = 9550 \cdot P/n$
M en N · m, P en kW, n en min^{-1}

Momento de inercia (ver pág. 48)
$J = m \cdot i^2$

Trabajo
$W = M \cdot \varphi = P \cdot t$

Potencia
$P = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi \cdot n$

Ecuación con valores numéricos:
$P = M \cdot n/9550$ (ver diagrama p. 50)
P en kW, M en N · m (= W · s),
n en min^{-1}

Energía de rotación
$E_{rot} = J \cdot \omega^2/2 = J \cdot 2\pi^2 \cdot n^2$

Ecuación con valores numéricos:
E_{rot} en J (= N · m), J en kg m^2,
n en min^{-1}

Impulso de giro, torsión
$L = J \cdot \omega = J \cdot 2\pi \cdot n$

Ecuación con valores numéricos:
$L = J \cdot \pi \cdot n/30 = 0{,}1047\,J \cdot n$
L en N · s · m, J en kg · m^2, n en min^{-1}

Movimiento pendular

(Péndulo matemático, es decir, masa puntual en un hilo sin masa)

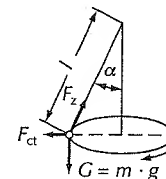
Péndulo plano
Péndulo de oscilación (ida y vuelta)

$T = 2\pi \cdot \sqrt{l/g}$

Sólo se precisa para pequeñas separaciones α de la posición de equilibrio o reposo (para $\alpha = 10°$ el error es aprox. 0,2%)

Péndulo cónico
Tiempo en dar una vuelta

$T = 2\pi \cdot \sqrt{(l \cos \alpha)/g}$



Fuerza centrífuga
$F_{ct} = m \cdot g \cdot \tan \alpha$

Tracción en el hilo
$F_z = m \cdot g/\cos \alpha$

Lanzamiento y caída

(símbolos de las fórmulas ver página 44)

Caso	Magnitud	Fórmula
Lanzamiento vertical hacia arriba (Sin resistencia del aire). Movimiento uniformemente retardado, Retardo = aceler. negativa $a = g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$	Vel. de ascenso	$v = v_1 - g \cdot t = v_1 - \sqrt{2g \cdot h}$
	Elevación	$h = v_1 \cdot t - 0{,}5g \cdot t^2$
	Tiempo de elevac.	$t = \dfrac{v_1 - v}{g} = \dfrac{v_1 - \sqrt{v_1^2 - 2g \cdot h}}{g}$
	En elev. máx. (p. de invers.)	$v_2 = 0;\ h_2 = \dfrac{v_1^2}{2g};\ t_2 = \dfrac{v_1}{g}$
Lanzamiento oblicuo hacia arriba (Sin resistencia del aire). Ángulo de lanzamiento α; superposición de movimiento rectilíneo uniforme y caída libre	Alcance (val. máx. cuando $\alpha = 45°$	$s = \dfrac{v_1^2 \cdot \mathrm{sen}\, 2\alpha}{g}$
	Durac. lanzamiento	$t = \dfrac{s}{v_1 \cdot \cos\alpha} = \dfrac{2 v_1 \cdot \mathrm{sen}\,\alpha}{g}$
	Altura máxima	$h = \dfrac{v_1^2 \cdot \mathrm{sen}^2\alpha}{2g}$
	Energía lanzamiento	$E = G \cdot h = m \cdot g \cdot h$
Caída libre (Sin resistencia del aire). Movimiento uniformemente acelerado Aceleración $a = g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$	Vel. de caída	$v = g \cdot t = \sqrt{2g \cdot h}$
	Altura caída	$h = \dfrac{g \cdot t^2}{2} = \dfrac{v^2}{2g} = \dfrac{v \cdot t}{2}$
	Tiempo caída	$t = \dfrac{2h}{v} = \dfrac{v}{g} = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$
Caída teniendo en cuenta la resistencia del aire Movimiento acelerado pero en el que la aceleración no es uniforme. Aceleración inicial $a_1 = g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ Aceleración final $a_2 = 0$	La velocidad de caída tiende a una velocidad límite o crítica v_0, a la cual la resistencia del aire $F_L = Q \cdot c_w \cdot A \cdot v_1^2/2$ es tan grande como la fuerza $G = m \cdot g$ peso que cae. Por ello:	
	Velocidad límite:	$v_0 = \sqrt{2m \cdot g/(\rho \cdot c_w \cdot A)}$ (ρ dens. aire, c_w = coef. de resist. aire, A superf. transv. del cuerpo).
	Velocidad caída:	$v = v_0 \cdot \sqrt{1 - 1/x^2}$ Para abreviar se introduce: $x = e^{gh/v_0^2};\ e = 2{,}718$
	Altura caída:	$h = \dfrac{v_0^2}{2g} \ln \dfrac{v_0^2}{v_0^2 - v^2}$
	Tiempo caída:	$t = \dfrac{v_0}{g} \ln(x + \sqrt{x^2 - 1})$

Ejemplo: Un cuerpo pesado (masa $m = 1000$ kg. Superficie transversal $A = 1\ \mathrm{m^2}$; coeficiente de resistencia en el aire $c_w = 0{,}9$) cae desde gran altura. Sean durante todo el trayecto la densidad del aire $\rho = 1{,}293\ \mathrm{kg/m^2}$ y la aceleración de caída $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ como a nivel del suelo.

Altura caída	Sin resist. aire, al final de las alt. de caída dadas se tendría:			Con resist. aire, al final de las alt. de caída dadas, se tiene:		
m	Tiem. caída s	Vel. caída m/s	Energía kJ	Tiem. caída s	Vel. caída m/s	Energía kJ
10	1,43	14,0	98	1,43	13,97	97
50	3,19	31,3	490	3,2	30,8	475
100	4,52	44,3	980	4,6	43	925
500	10,1	99	4900	10,6	86,2	3690
1000	14,3	140	9800	15,7	108	5850
5000	31,9	313	49 000	47,6	130	8410
10 000	45,2	443	98 000	86,1	130	8410

Coeficientes de resistencia del aire, c_w

Forma del cuerpo	c_w	Forma del cuerpo	c_w
Disco Placa	1,1	Cilindro largo	
Cascarón abierto Paracaídas	1,4	$Re < 200\,000$ $Re > 450\,000$	1,0 0,35
Esfera $Re < 200\,000$ $Re > 250\,000$	 0,45 0,20	Placa larga $l : d = 30$ $Re \approx 500\,000$ $Re \approx 200\,000$	 0,78 0,66
Cuerpo rotac. esbelto $l : d = 6$	0,05	Ala sustent. larga $l : d = 18$ } $Re \approx 10^6$ $l : d = 8$ } $Re \approx 10^6$ $l : d = 5$ } $Re \approx 10^6$ $l : d = 2$ $Re \approx 2 \cdot 10^5$	 0,2 0,1 0,08 0,2

Número de Reynolds

$Re = (v + v_0) \cdot l/\nu$

- v velocidad del cuerpo en m/s,
- v_0 velocidad del aire en m/s,
- l longitud del cuerpo en m (en el sentido de la corriente)
- d espesor del cuerpo en m,
- ν viscosidad cinemática en m²/s

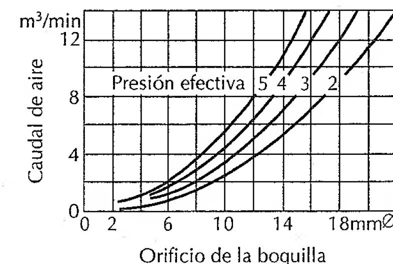
Para aire con $\nu = 14 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{m^2/s}$ (valor medio anual a 200 m sobre el nivel del mar) es

$Re \approx 72\,000\,(v + v_0) \cdot l$ con n y v_0 en m/s
$Re \approx 20\,000\,(v + v_0) \cdot l$ con n y v_0 en km/h

Los resultados de las mediciones en corrientes de dos cuerpos geométricamente semejantes, pero de distinto tamaño, sólo son comparables si en ambos casos el número de Reynolds es igual (es importante en las pruebas con modelos).

Salida de aire por boquillas o toberas

Las curvas del diagrama sólo dan valores orientativos. El caudal de la corriente de aire, además de depender de la presión y de la sección de la boquilla, también depende de la superficie y longitud del orificio de la boquilla, de la conducción y del redondeado de las aristas en la boca de salida.

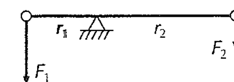


Gravitación

La fuerza de atracción de dos masas
$F = f(m_1 \cdot m_2)/r^2$
r Dist. entre centros de masas
f Constante de gravitación
$= 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$

Ley de la palanca

$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$



Momentos de inercia

(Los símbolos en página 44, masa $m = V \cdot \rho$, Volúmenes de los cuerpos V en página 149, densidad ρ en páginas 13 y 184 y momentos de inercia de superficies en página 59).

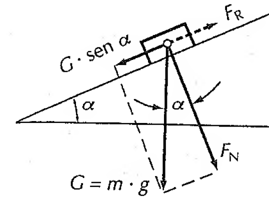
Clase de cuerpo	Momento de inercia J_x respecto al eje x[1], J_y respecto al eje y[1]
Paralelepípedo, rectángulo	$J_x = m\frac{b^2+c^2}{12}$, $J_y = m\frac{a^2+c^2}{12}$ Cubo de lado a: $J_x = J_y = m\frac{a^2}{6}$
Cilindro regular	$J_x = m\frac{r^2}{2}$ $J_y = m\frac{3r^2+l^2}{12}$ o
Cilindro hueco regular	$J_x = m\frac{r_a^2+r_i^2}{2}$ $J_y = m\frac{r_a^2+r_i^2+l^2/3}{4}$
Cono	$J_x = m\frac{3r^2}{10}$ Superf. exterior cono (sin bases): $J_x = m\frac{r^2}{2}$
Tronco de cono	$J_x = m\frac{3(R^5-r^5)}{10(R^3-r^3)}$ Superf. exterior cono (sin bases): $J_x = m\frac{R^2+r^2}{2}$
Pirámide	$J_x = m\frac{a^2+b^2}{20}$
Esfera y hemisferio	$J_x = m\frac{2r^2}{5}$ La superf. esférica: $J_x = m\frac{2r^2}{3}$
Esfera hueca r_a radio exterior esfera r_i radio exterior esfera	$J_x = m\frac{2(r_a^5+r_i^5)}{5(r_a^3+r_i^3)}$
Anillo cilíndrico Toro	$J_x = m\left(R^2+\frac{3}{4}r^2\right)$

(1) El momento de inercia para el eje de las x o de las y, a una distancia a del eje paralelo es $J_A = J_x + m \cdot a^2$ o bien $J_A = J_y + m \cdot a^2$

Rozamiento

En el plano horizontal
Fuerza de rozamiento (resist. por rozam.)
$F_R = \mu \cdot m \cdot g$

En el plano inclinado
Fuerza de rozamiento (resist. por rozam.)
$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$



Fuerza en dirección del plano inclinado[1]
$F = G \cdot \text{sen}\,\alpha - F_R = m \cdot g(\text{sen}\,\alpha - \mu \cdot \cos\alpha)$

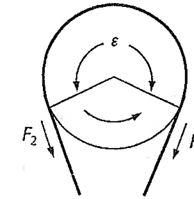
Aceleración en la dirección del plano inclinado[1]
$a = g(\text{sen}\,\alpha - \mu \cdot \cos\alpha)$

Velocidad tras recorrer el espacio s (o bien una altura $h = s \cdot \text{sen}\,\alpha$)
$v = \sqrt{2g \cdot h(1 - \mu \cdot \cot\alpha)}$

(1) Si ($\text{sen}\,\alpha - \mu\cos\alpha$) es negativo o nulo, el cuerpo permanece en reposo.

Rozamiento por abrazamiento
Fuerzas de tensión
$F_1 = F_2 \cdot e^{\mu\varepsilon}$

Fuerza tangencial transmisible
$F_U = F_1 - F_2 = F_1(1 - e^{\mu\varepsilon}) = F_2(e^{\mu\varepsilon} - 1)$
$e = 2{,}718$ (base de los logaritmos naturales)



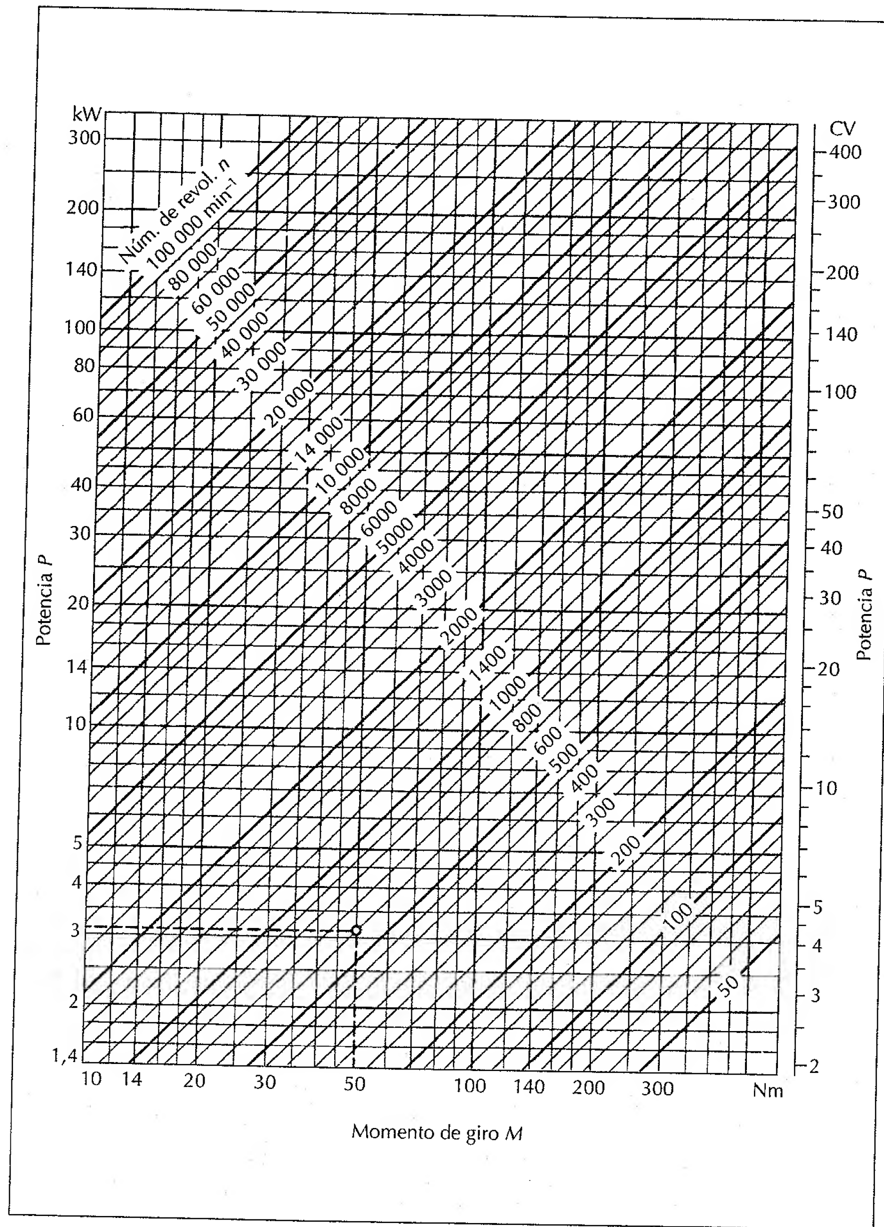
Coeficiente de rozamiento

Materiales	Rozam. dinámico (de deslizamiento) μ En seco	Rozam. dinámico μ Engrasado	Rozam. estático (adherencia) μ_r En seco	Rozam. estático μ_r Engrasado
Acero sobre acero	0,12	0,08	0,15	0,12
Acero sobre bronce o fund. gris	0,18	0,06	0,2	0,1
Acero sobre hielo	0,014	–	0,03	–
Acero sobre madera	0,5	0,1	0,6	0,12
Fund. gris sobre fund. gris	0,28	0,08	0,3	0,2
Fund. gris sobre bronce	0,2	0,08	0,3	0,2
Cuero sobre metal	0,48	0,15	0,6	–
Cuero sobre madera	0,4	–	0,5	–
Goma sobre metal	0,5	–	–	–
Guarn. freno sobre acero	0,5	–	–	–
Piedra sobre piedra	0,65	–	0,7	–
Madera sobre madera	0,5	–	0,6	–

El rozamiento estático siempre es algo mayor que el dinámico.

Potencia y momento de giro (par)

(Ecuación en página 45)



A un múltiplo de M o de n le corresponde el mismo múltiplo de P.

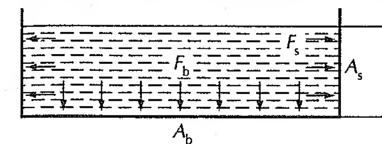
Ejemplos: Para M = 50 N · m y n = 600 min^{-1}, P = 3,15 kW (4,3 CV)
Para M = 5 N · m y n = 600 min^{-1}, P = 0,315 kW (0,43 CV)
Para M = 5000 N · m y n = 60 min^{-1}, P = 31,5 kW (43 CV)

Mecánica de fluidos

Símbolo	Magnitud	Unidad SI
A	Sección transversal	m^2
A_b	Superf. del fondo	m^2
A_s	Superf. lateral	m^2
F	Fuerza	N[1]
F_a	Empuje	N
F_b	Fuerza sobre fondo	N
F_s	Fuerza sobre paredes laterales	N
G	Fuerza del peso	N
g	Aceleración gravedad g = 9,81 m/s^2	m/s^2
h	Altura columna de líquido	m

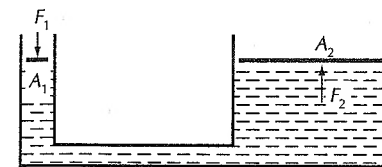
Símbolo	Magnitud	Unidad SI
m	Masa	kg
p	Presión líquido	Pa[2]
	$p_1 - p_2$ difer. presión	Pa
p_e	Sobrepres. con respecto a presión atmosféric.	Pa
Q	Caudal	m^3/s
V	Volumen	m^3
v	Vel. de circulación	m/s
ρ	Densidad	kg/m^3
	Densidad agua[3] ρ_W = 1 kd/dm^3 = 1000 kg/m^3	

Líquido en reposo en recipiente abierto



Fuerza sobre fondo $F_b = A_b \cdot h \cdot \rho \cdot g$
Fuerza sobre pared. lat. $F_s = 0{,}5\ A_s \cdot h \cdot \rho \cdot g$
Empuje $Fa = V \cdot \rho \cdot g$
= Fuerza del peso del volumen de fluido desalojado. El cuerpo flota si $F_a \geq G$

Prensa hidráulica



Presión líquido $p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$

Fuerz. de los pistones $F_1 = p \cdot A_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2}$

$F_2 = p \cdot A_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$

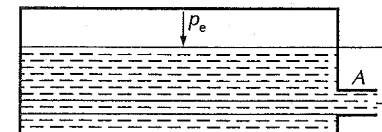
Corriente con variación del tamaño de la abertura de paso



Caudal

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{p_1 - p_2}{1/A_2^2 - 1/A_1^2}}$$

Descarga de recipientes



Velocidad de salida

$$v_a = \psi \cdot \sqrt{2g \cdot h + 2p_e/\rho}$$

Caudal

$$Q_a = \chi \cdot A \cdot v_a = \chi \cdot \psi \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot h + 2p_e/\rho}$$

Coeficiente de estrangulación χ con cantos vivos 0,62 a 0,64, con cantos poco matados 0,7 a 0,8, con cantos algo redondeados 0,9, con cantos bien redondeados y pulidos 0,99
Coeficiente de descarga
ψ = 0,97 a 0,998

[1] 1 N = 1 kg · m/s^2 (página 10)
[2] 1 Pa = 1 N/m^2 ; 1 bar = 10^5 Pa; 1 at (= 1 kp/cm^2) = 0,981 bar ≈ 1 bar (Unidades de presión, página 28)
[3] Densidades de líquidos, página 188

Cálculo de resistencias

Símbolos y unidades

Nombres de las unidades, en págs. 12 a 16

Magnitud		Unidad
A	Secc. (superf.) transversal	mm^2
E	Módulo de elasticidad	N/mm^2
F	Fuerza, carga	N
G	Módulo deslizamiento o cizalladura	N/mm^2
I_a	Momento inercia axial (pág. 59)	mm^4
I_p	Momento inercia polar (pág.59)	mm^4
l	Longitud	mm
M_b	Momento flexión	N · mm
M_t	Momento de giro (par)	N · mm
q	Carga de recorrido	N/mm
R	Radio de flexión de la fibra neutra	mm
R_{dm}	Resistencia a la presión	N/mm^2
R_e	Límite de alargamiento	N/mm^2
R_m	Resistencia a la tracción	N/mm^2
$R_{p0,2}$	Límite de torsión(1)	N/mm^2
S	Factor de seguridad	–
s	Flecha máxima	mm
W_b	Momento resist. en la flexión (pág.59)	mm^3
W_t	Momento resist. en la torsión (pág. 59)	mm^3
α_k	Coef. forma (factor entalla)	–
β_k	Factor efecto entalla	–
γ	Desplazamiento elástico	rad
δ, A	Alargamiento a la rotura	%
ε	Alargamiento elástico o compresión	%
ν	Coef. tracción transversal	–
σ	Tensión normal	N/mm^2
σ_{zdw}	Resistencia alternante tracción/compr.	N/mm^2
σ_{gr}	Límite elástico	N/mm^2
σ_D	Resistencia a la fatiga oscilante	N/mm^2
σ_W	Resistencia a la fatiga (alternante, tracc./compr.)	N/mm^2
σ_a	Amplitud de tensión	N/mm^2
σ_{bB}	Resistencia a la flexión	N/mm^2
σ_{bF}	Límite flexión/fluencia	N/mm^2
σ_{bW}	Resistencia a la flexión	N/mm^2
τ	Tensión empuje	N/mm^2
τ_t	Tensión torsión	N/mm^2
τ_{gr}	Tensión límite de torsión	N/mm^2
τ_{tB}	Resistencia a la torsión	N/mm^2
τ_{tF}	Límite torsión/fluencia	N/mm^2
τ_{tW}	Resistencia a la fatiga en torsión	N/mm^2
ψ	Ángulo rotación	rad

Las ecuaciones de este capítulo son ecuaciones generales de magnitudes, es decir, son válidas también para otras unidades, excepto las ecuaciones para el pandeo.

Tensiones mecánicas

Tracción y compresión

(perpendiculares a la superficie)

Tracción y compresión $\sigma = \dfrac{F}{A}$

Alargamiento (aplastamiento) $\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l}$

Δl alargamiento o acortamiento), l longitud inicial

Módulo de elasticidad $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon}$ (2)

En el caso de varillas largas, solicitadas a compresión, también hay que calcularles la resistencia al pandeo.

Flexión

En el caso de vigas largas a flexión, se puede prescindir de una fuerza transversal. Para el cálculo de tensiones por flexión (basándose en los momentos de flexión sin fuerzas transversales) se puede dejar por sentado, en base a la simetría, que las secciones transversales planas continúan siendo planas. Además, resulta que la fibra neutra (línea de cero) para cualquier sección posible pasa por su centro de gravedad. En estas condiciones resulta:

$$M_b = \frac{E \cdot I}{R}$$

Tensión en perif. $\sigma_b = \dfrac{M_b}{I} \cdot e = \dfrac{M_b}{W}$

si $W = \dfrac{I}{e}$.

I es el momento de inercia axial; suma de los productos de todas las partículas de la sección transversal por el cuadrado de sus distancias a la línea cero.
W momento resistente de una sección transversal, indica para la tensión de la capa exterior 1, el momento interior, con el cual la sección puede resistir una carga a flexión exterior.
Q fuerza transversal, suma de todas las fuerzas a la derecha o a la izquierda de la sección que se contemple, sometida a empuje o cizalladura. En el caso de vigas a flexión cortas hay que calcular también las tensiones causadas por Q mediante empuje o cizalladura.
e es la distancia desde la fibra más exterior a la fibra neutra.

Tabla 1. Casos de carga a flexión

$F_A = F$ $M_{b\,max} = l \cdot F$	$s = \dfrac{l^3}{3} \cdot \dfrac{F}{E \cdot I_a}$
$F_A = \dfrac{b}{l}F;\ F_B = \dfrac{a}{l}F$ $M_{b\,max} = \dfrac{a \cdot b}{l}F$	$s = \dfrac{a^2 \cdot b^2}{3l} \cdot \dfrac{F}{E \cdot I_a}$
$F_A = q \cdot l$ $M_{b\,max} = \dfrac{q \cdot l^2}{2}F$	$s = \dfrac{l^4}{8} \cdot \dfrac{q}{E \cdot I_a}$
$F_A = F_B = \dfrac{q \cdot l}{2}$ $M_{b\,max} = \dfrac{q \cdot l^2}{8}F$	$s \approx \dfrac{l^4}{77} \cdot \dfrac{q}{E \cdot I_a}$

Pandeo

En las varillas comprimidas, la compresión $\sigma = F/A$ tiene que ser menor que la tensión de pandeo permisible.

$\sigma_{kzul} = \sigma_k / S$

ya que de lo contrario la varilla se pandea. Según lo centrada que actúe la fuerza se toma un factor de seguridad $S \geq 3$ a 6.

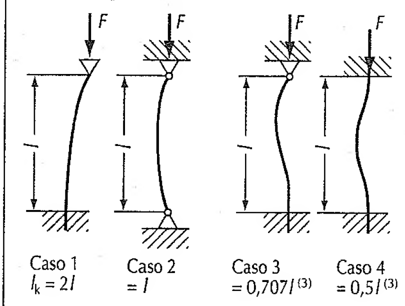
Grado de esbeltez $\lambda = l_k / \sqrt{I_a/A}$

l_k longitud libre para pandeo (ver figura).

Tensión de pandeo $\sigma_K = \pi^2 \dfrac{E}{\lambda^2} \approx 10 \dfrac{E \cdot I_a}{l_k^2 A}$

Esta ecuación de σ_k (fórmula de Euler), sólo se cumple con varillas esbeltas cuando
$\lambda \geq 100$ para acero St 37,
$\lambda \geq \pi \sqrt{E/R_e}$ para aceros con otros R_e diferentes del St 37,
$\lambda \geq 80$ para la fundición gris GG 25,
$\lambda \geq 100$, para madera de pino.

Según Tetmajer, para valores menores de λ se tiene:
acero St 37, $\sigma_k = (284 - 0{,}8\ \lambda)\ N/mm^2$;
acero St 52, $\sigma_k = (578 - 3{,}74\ \lambda)\ N/mm^2$;
madera de pino, $\sigma_k = (29 - 0{,}19\ \lambda)\ N/mm^2$



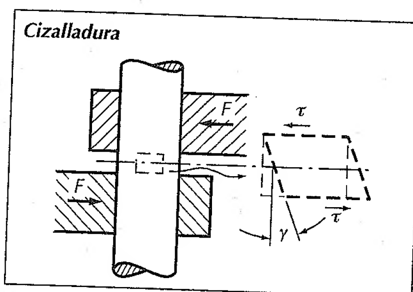
(1) Límite elástico a 0,2%: Tensión para la cual el alargamiento permanente asciende al 0,2 %.
(2) Ley de Hooke; válida sólo para deformaciones elásticas, es decir, se cumple prácticamente hasta el límite de fluencia (límite elástico, límite de fluencia a flexión, limite de fluencia a la torsión, ver también la página 55).
(3) Válida para sujeción ideal y sin excentricidad en los puntos de aplicación. Es más seguro el cálculo según el caso 2.

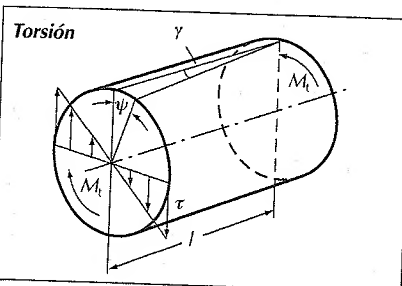
Cizalladura por deslizamiento transversal
Tensión de cizalladura (esfuerzo cortante) $\tau = F/A$.
τ es la fuerza de cizalladura por deslizamiento transversal por unidad de superficie de la sección transversal de un cuerpo. La tensión (fuerza) actúa en dirección del elemento de superficie. El desplazamiento γ es la variación angular en el elemento del cuerpo como consecuencia del esfuerzo cortante. El módulo de cizalladura (módulo de deslizamiento) $G = \tau / \gamma$ (1) (2).

Torsión
Tensión de torsión $\tau_t = M_t / W_t$
Momento resistente W_t página 59.
Momento de giro M_t = Fuerza de torsión · brazo de palanca. El momento (par) de giro produce, en cualquier plano de sección transversal sobre cada diámetro, la siguiente distribución del esfuerzo cortante.

Ángulo de torsión $\psi = \frac{l \cdot M_t}{G \cdot I_p} = \frac{l \cdot M_t \cdot \tau}{I_p \cdot G}$

El ángulo de torsión ψ es el ángulo deformado por rotación, en radianes, de una barra de longitud l. (Conversión: 1 rad ≈ 57,3°, pág. 22.)
Momentos de inercia de superficie polar, I_p (ver la pág. 59).





Efecto de entalla

Las ecuaciones mencionadas hasta ahora son válidas para barras lisas; si existen entallas, estas ecuaciones dan las tensiones nominales (referidas a la sección normal restante):

$\sigma_{zn} = F/A$ a tracción (v. fig.)
$\sigma_{bn} = M_b/W_b$ a flexión
$\tau_{tn} = M_t / W_t$ a torsión

Las entallas (tales como ranuras, taladros) y los cambios de sección (resaltes, escotes), así como los rebajes, producen concentraciones de tensiones σ_{max} que generalmente están muy por encima de las tensiones nominales.

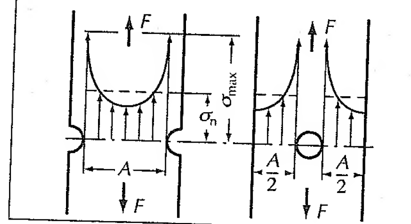
$$\sigma_{max} = \alpha_k \cdot \sigma_n$$

Factor de forma, α_k, pág. 58.
Las entallas disminuyen a la durabilidad temporal y permanente de los componentes (pág. 57, solidez de la forma), y en materiales quebradizos la resistencia al impacto o resiliencia; en el caso de materiales tenaces, la primera deformación permanente (plástica) tiene lugar antes. El factor de forma α_k es tanto mayor, cuanto más aguda y profunda es la entalla (ranuras puntiagudas, grietas capilares, superficies mal mecanizadas, o "rasposas") y cuanto más vivos son los cambios de sección.

(1) Ver nota(2) al pie de la página 53
(2) Entre el módulo de empuje G y el módulo de elasticidad E se tienen

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{con } \nu = \text{número transversal}$$

En materiales metálicos con $\nu = 0{,}3$, $G = 0{,}385\ E$; los valores para E están en la página 191 y sig.



Solicitaciones admisibles

Las ecuaciones de las secciones "tensiones mecánicas" y "efecto de entalla" sólo se cumplen en la zona elástica; en la práctica, de forma aproximada, se pueden aplicar sin error a cálculos hasta el límite de fluencia, es decir, hasta que la deformación permanente es como máximo de un 0,2% (ver nota 1 al pie de la pág. 53). Las solicitaciones admisibles de los materiales se determinan por ensayo y cálculos de resistencias que se ajustan a la clase de material (tenaz, frágil) y tipo de solicitación (estática, alternada).

R_m Resistencia a la tracción. Para acero hasta ≈ 600 HV, se aplica R_m (en N/mm²) ≈ 3,3 · (valor dureza HV); (págs. 191 y 267)
R_e Tensión en el límite de fluencia (en el caso de tracción se denomina especialmente límite elástico σ_s)
δ (o A) Alargamiento de rotura (plástico)

Tabla 2. Tensiones límite σ_{gr}, τ_{gr} en el caso de solicitación estática.
Las tensiones límite σ_{gr} y τ_{gr} para las cuales tiene lugar el fallo del material (gran deformación o rotura), no deben alcanzarse en la práctica. Según la precisión del cálculo de las solicitudes de carga y según el material y tipo de solicitación y los posibles perjuicios en el caso de fallo se tiene que tener en cuenta un factor de seguridad $S = \sigma_{gr}/\sigma_{zul}$ (donde σ_{zul} es la tensión máxima admisible de trabajo). Para materiales tenaces se elige S = 1,2 a 2 (o a 4); y para materiales frágiles S = (1,2) a 2 a 4(o a 10).
Se debe cumplir $\sigma_{max} < \sigma_{zul}$ (σ_{max} es la tensión máxima o de punta, en trabajo).

Tensión límite	Materiales tenaces	Materiales frágiles
A tracción	σ_{gr} = Límite elástico R_e (≈ Lím. de alargam. elástico). En el caso del acero llega aproxim. a R_m = 600 N/mm², y para los metales laminados en frío es R_e = 0,6 a 0,8 R_m. σ_{gr} = Límite elástico con deformación permanente del 0,2 por cien $R_{p0,2}$ (ver nota 1 al pie de la pág. 53). En metales sin un límite elástico característico, como p.ej. acero con $R_m \geq$ 600 N/mm², Cu, Al.	σ_{gr} = Resistencia a la tracción R_m
A compresión	σ_{gr} = Límite de aplastamiento de fibras σ_{df} (Límite del aplastamiento elástico, equivale aprox. al límite elástico R_e)	σ_{gr} = Resistencia a la compresión R_{dm}
A compresión con peligro de pandeo	σ_{gr} = tensión de pandeo σ_k	σ_{gr} = tensión de pandeo σ_k
A flexión	σ_{gr} = Límite de fluencia a flexión σ_{bF} (límite del curvado elástico). σ_{bF} equivale aproximadamente al límite de alargamiento R_e a la tracción. Al sobrepasarse σ_{bF} resulta una deformación permanente.	σ_{gr} = Resistencia a la flexión $\sigma_{bB} \approx R_m$. Sin embargo para la fundición gris hasta GG40, R_m = 1,4 a 2,0 R_m porque $\varepsilon = \sigma/E$ no se cumple a causa del desplazamiento de la fibra neutra.
A torsión	τ_{gr} = Límite de fluencia a torsión τ_{tF} (límite de la torsión elástica). Límite de torsión $\tau_{tF} \approx$ 0,5 a 0,6 R_e. Si se sobrepasa queda deformación por torsión permanente.	τ_{gr} = Resistencia a la torsión τ_{tB}. Se cumple que τ_{tB} = 0,5 a 0,8 σ_B, sin embargo para la fundición gris hasta GG25 τ_{tB} = 1 a 1,3 σ_B.
A deslizamiento	τ_{gr} = Límite de fluencia por deslizamiento $\tau_{sF} \approx$ 0,6 σs	τ_{gr} = Resistencia al deslizamiento τ_{sB}

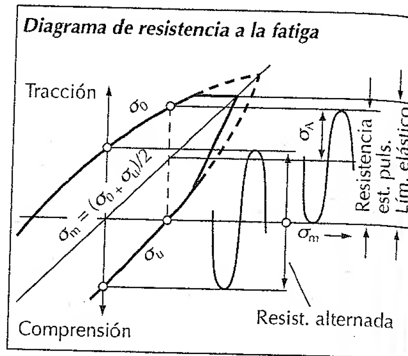
Si no son admitidas deformaciones plásticas, entonces se puede extender el límite de fluencia a torsión o a flexión en el caso de materiales tenaces. También las zonas interiores de una sección son sometidas a esfuerzos hasta su límite de fluencia y apoyan en las fibras marginales. Por ello en varillas de flexión rectangulares es posible un incremento máximo de 1,5, del par de flexión en varillas de torsión redondas un incremento máximo del par de torsión de 1,33.

Tensiones límite en cargas oscilantes

Si la carga varía entre dos valores de tensión, aparecen unas tensiones límite (inferiores) σ_{gr}: La tensión máxima que oscila alrededor de una tensión media, de frecuencia "infinita", que pueda soportar un material sin romperse ni sufrir deformación inadmisible, se llama resistencia a la fatiga (alternada) σ_D. Con fines de investigación, σ_D se determina sometiendo a cargas alternadas unas probetas hasta que se produce la rotura: si se cargan varias probetas con diferentes intensidades, la representación gráfica de los números que representan las cargas de rotura dan una "curva de Wöhler", que para el caso del acero a partir de 2 a 10 millones de ciclos y para los metales no férreos a partir de los 100 millones de ciclos, es casi horizontal. Aquí carga de oscilación equivale a resistencia permanente.

Si no actúan otras influencias adicionales (desgaste, corrosión, múltiples sobrecargas u otras), según este "número de inversiones límite" no se produce ninguna rotura. Hay que tener en cuenta que $S \cdot \sigma_a \leq \sigma_w$, o sea que cuando las tensiones medias son más altas el factor de seguridad S = 1,25 hasta ≥ 3 (los valores de la solicitación tienen índices en minúscula y los de fatiga alternada en mayúscula). En general la rotura no presenta deformación plástica. En los materiales plásticos no puede darse siempre el número de ciclos o inversiones límite. En aceros de mayores resistencias pueden darse tensiones propias, debidas a su elaboración, que influyen fuertemente en la resistencia permanente.

Diagrama de resistencia a la fatiga



Influencia del acabado superficial en la resistencia a la fatiga a flexión y a tracción/compresión

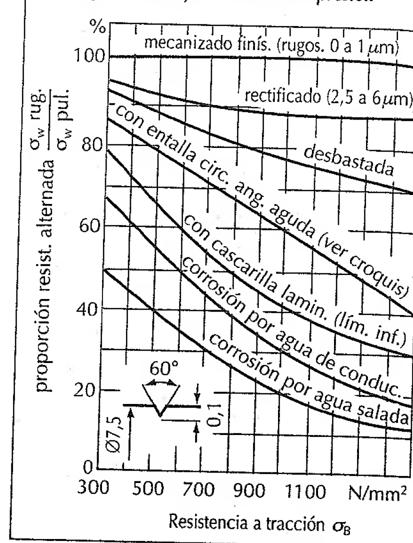


Diagrama de resistencia a la fatiga

Para cada subesfuerzo σ_u o esfuerzo medio σ_m se puede determinar mediante el diagrama de resistencia a la fatiga (ver figura) la amplitud máxima de "frecuencia infinita" que se puede soportar. Este diagrama se elabora mediante varias curvas de Wöhler con diferentes tensiones medias.

Casos especiales de resistencia a la fatiga

Resistencia alternada σ_w

El esfuerzo varía entre dos valores límite iguales y opuestos; por lo cual el esfuerzo medio es nulo.

La resistencia alternada σ_w es según el cuadro siguiente:

Tipo de carga	Para acero	Para metales no ferrosos
Tracción-compresión	0,30...0,40 R_m	0,2...0,4 R_m
Flexión	0,40...0,55 R_m	0,3...0,5 R_m

Resistencia a la fatiga por esfuerzos pulsatorios

Designa la amplitud de oscilación o amplitud doble, cuando la subtensión es nula (ver Diagrama de resistencia a la fatiga)

Tabla 3. Relajación de diferentes materiales

Material	Tipo de pieza	σ_B N/mm²	Tensión inicial N/mm²	Temperatura °C	Tiempo h	Relajación %
GD-Zn Al4 Cu 1	Rosca	280	150(1)	20	500	30
GD-Mg Al8 Zn 1	Probeta a compresión	157	60	150	500	63
GD-Al Si 12 (Cu)	Probeta a compresión	207	60	150	500	3,3
Cq35	Tornillo	800	540	160	500	11
40Cr Mo V 47	Varilla a tracción	850	372	300	1000	12

Esfuerzo oscilante admisible en piezas con entallas

La resistencia a la fatiga de las piezas con entallas casi siempre es mayor que la que se calcula con el factor de forma α_k (pág. 58). Además, los materiales tienen diferentes sensibilidades al efecto de la entalla en los esfuerzos vibratorios de fatiga. Entre esos materiales, los aceros de muelles, los aceros de construcción muy bonificados y los bronces de elevada resistencia son más sensibles que la fundición gris, los aceros inoxidables y las aleaciones de aluminio templadas. En vez de α_k para los esfuerzos de fatiga (oscilante) se toma el factor de entalla β_k de modo que, por ejemplo, para $\sigma_m = 0$ el esfuerzo real en la pieza es $\sigma_{wn}\beta_k$ (σ_{wn} es el esfuerzo alternado nominal referido a la sección restante). Debe cumplirse que:

$$\sigma_{wn}\beta_k \leq \sigma_{wzul} = \sigma_w/S$$

Se ha intentado repetidamente obtener β_k partiendo de α_k. Por ejemplo, Thum introdujo un coeficiente de sensibilidad a la entalla η_k y determinó que

$$\beta_k = 1 + (\alpha_k - 1)\eta_k$$

η_k no es sin embargo ninguna constante del material y depende también del estado de bonificado, de la geometría de la pieza (filo de la entalladura) y de la clase de esfuerzo (por ejemplo, alternado o pulsatorio).

Valores de la resistencia alternada

σ_w para diversos materiales, págs. 191 y 196.

Factores de forma

α_k para diferentes entallas, pág. 58.

Resistencia a la fatiga de la pieza conformada

En muchas piezas de construcción es difícil o prácticamente imposible determinar un factor de forma α_k y con él un coeficiente de entalla β_k. En tales casos hay que determinar por ensayos la vida de toda la pieza ("Resistencia a la fatiga de la pieza conformada" p.ej. en N de carga de oscilación y N · m de par de oscilación), o compararla con los resultados de investigaciones publicados. Además pueden medirse los esfuerzos locales, p.ej. mediante tiras de medición. Alternativamente, o para la configuración previa, puede calcularse numéricamente la distribución de tensiones, para compararla con la tensión límite correspondiente, por el método de elementos finitos.

Comportamiento a elevadas temperaturas

Cuando se solicitan los materiales a elevadas temperaturas y/o elevadas tensiones durante largo tiempo, puede producirse relajación o fluencia. Si las deformaciones, por lo general muy pequeñas, que se producen por ello, resultan inadmisibles, hay que tener en cuenta en tal caso el comportamiento en esas condiciones.

Fluencia:

Deformación permanente por una carga constante y tensión (prácticamente) constante (ejemplo: paletas de turbina).

Relajación:

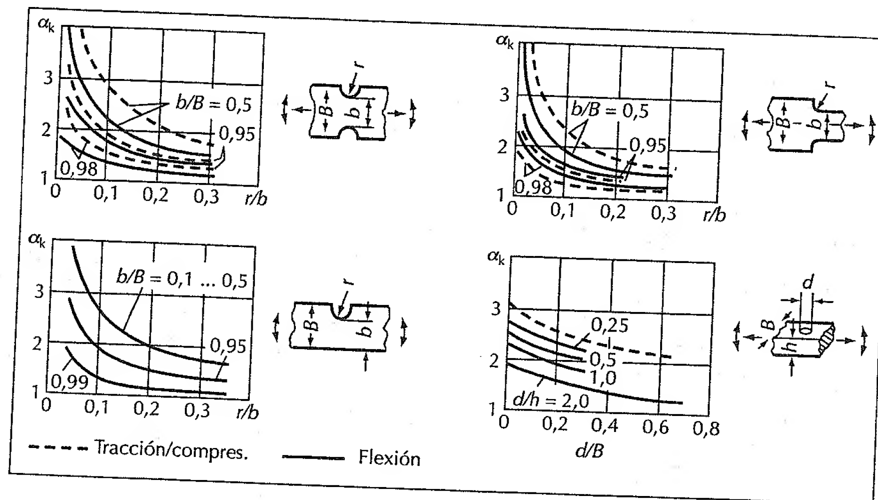
Disminución de las fuerzas de tensión y tensiones manteniendo constante la deformación (casi) puramente elástica inicialmente introducida (ejemplos en la tabla 3).

En el caso de solicitaciones oscilantes (con $\sigma_a \geq 0,1\ \sigma_b$) y sobretensiones y temperaturas, según los ensayos de fluencia o relajación, las deformaciones o pérdidas de fuerza se presentan según los ensayos estadísticos después de un tiempo 10 veces superior.

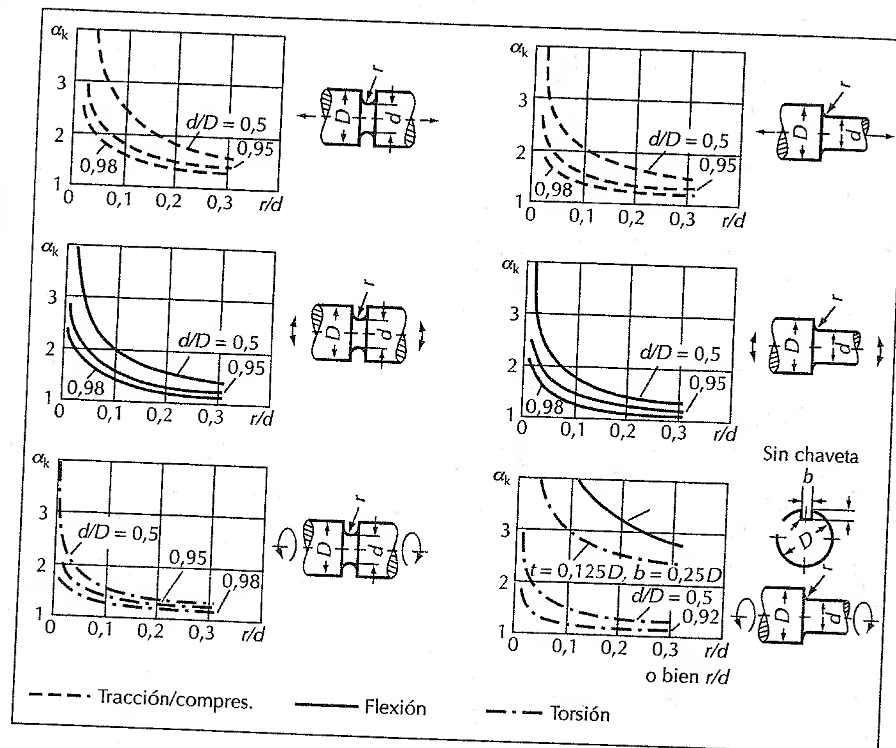
(1) En la sec. de tensión de los tornillos de acero.

Factor de forma α_k para distintas formas de entalla

Factores de forma para barras planas (llantas)



Factores de forma para barras redondas (varillas)



Momentos resistentes y momentos de inercia de superficies

NL = "Fibra neutra"

Momentos de inercia de masa, ver pág. 48

	Momento resistente W_b a flexión W_t a torsión	**Momento inercia de superf.** I_a axial, ref. a la NL I_p polar, ref. al centro grav.
NL, d	$W_b = 0{,}098\ d^3$ $W_t = 0{,}196\ d^3$	$I_a = 0{,}049\ d^4$ $I_p = 0{,}098\ d^4$
NL, d_0, d	$W_b = 0{,}098\ (d^4 - d_0^4)/d$ $W_t = 0{,}196\ (d^4 - d_0^4)/d$	$I_a = 0{,}049\ (d^4 - d_0^4)/d$ $I_p = 0{,}098\ (d^4 - d_0^4)/d$
NL, b, a	$W_b = 0{,}098\ a^2 \cdot b$ $W_t = 0{,}196\ a \cdot b^2$	$I_a = 0{,}049\ d^3 \cdot b$ $I_p = 0{,}196\ \frac{a^3 \cdot b^3}{a^2 + b^2}$
NL, b, a, a_0, b_0	$W_b = 0{,}098\ (a^3 \cdot b - a_0^3 \cdot b_0)/a$ $W_t = 0{,}196\ (a^3 \cdot b^3 - a_0 \cdot b_0^3)/b$	$I_a = 0{,}049\ (a^3 \cdot b - a_0^3 \cdot b_0)$ $I_p = 0{,}196\ \frac{n^3(b^4 - b_0^4)}{n^2 + 1}$ para $\frac{a_0}{b_0} = \frac{a}{b} = n \geq 1$
NL, a	$W_b = 0{,}118\ a^3$ $W_t = 0{,}208\ a^3$	$I_a = 0{,}083\ a^4$ $I_p = 0{,}140\ a^4$
$h : b$ / x / η: 1 / 0,208 / 0,140 1,5 / 0,231 / 0,196 2 / 0,246 / 0,229 3 / 0,267 / 0,263 4 / 0,282 / 0,281 NL, h, b	$W_b = 0{,}167\ b \cdot h^2$ $W_t = x \cdot b^2 \cdot h$ (En el caso de torsión, las secciones tranversales, inicialmente planas, de una varilla no permanecen planas.)	$I_a = 0{,}083\ b \cdot h^3$ $I_p = \eta \cdot b^3 \cdot h$
NL, d	$W_b = 0{,}104\ d^3$ $W_t = 0{,}188\ d^3$	$I_a = 0{,}060\ d^4$ $I_p = 0{,}115\ d^4$
NL, d	$W_b = 0{,}120\ d^3$ $W_t = 0{,}188\ d^3$	$I_a = 0{,}060\ d^4$ $I_p = 0{,}115\ d^4$
NL, b, h, a	$W_b = \frac{h^2(a^2 + 4a \cdot b + b^2)}{12\ (2a + b)}$	$I_a = \frac{h^3(a^2 + 4a \cdot b + b^2)}{36\ (a + b)}$
NL, b, h, h_0, b_0, $\frac{b_0}{2}$	$W_b = \frac{b \cdot h^3 - b_0 \cdot h_0^3}{6\ h}$	$I_a = \frac{b \cdot h^3 - b_0 \cdot h_0^3}{12}$
NL, b, h, h_0, $\frac{b}{2}$	$W_b = \frac{b \cdot h^3 + b_0 \cdot h_0^3}{6\ h}$	$I_a = \frac{b \cdot h^3 + b_0 \cdot h_0^3}{12}$

Acústica

Símbolos y unidades
(ver también DIN 1332)

Magnitud		Unidad SI
c	Velocidad sonido	m/s
f	Frecuencia	Hz
I	Intensidad de sonido	W/m²
L_1	Nivel de intens. sonido	dB
L_{Aeq}	Nivel equival. de sonido continuado, valorado en A	dB (A)
L_{pA}	Nivel de presión de sonido, valorado en A	dB(A)
L_r	Nivel de valoración	dB (A)
L_{WA}	Nivel de potencia de sonido, valorado en A	dB (A)
P	Potencia de sonido	W
p	Presión de sonido	Pa
S	Superficie	m²
T	Tiempo reverberación (eco)	s
υ	Vel. instantán. sonido	m/s
Z	Impedancia acústica específica	Pa · s/m
α	Grado de absorción sonido	1
λ	Longitud onda	m
ρ	Densidad	kg/m³
ω	Frecuencia angular (= $2\pi f$)	1/s

Conceptos generales
(ver también DIN 1320)

Sonido
Oscilaciones mecánicas y ondas de un medio elástico, especialmente en la banda de frecuencias audibles (16 a 20000 Hz).

Ultrasonidos
Oscilaciones mecánicas por encima de la banda de frecuencias audibles por el hombre.

Propagación del sonido
El sonido se propaga en general de forma esférica partiendo de la fuente sonora. En el campo del sonido libre, la presión de sonido disminuye con la distancia a la fuente sonora, a razón de 6 dB cada vez que se duplica la distancia. Los objetos reflectantes modifican el campo de sonido, y es menor la disminución de nivel cada vez que se duplica la distancia.

Velocidad del sonido c
Velocidad de propagación de una onda sonora.

Velocidad del sonido y longitud de onda en materiales diferentes

Material	Velocidad del sonido c m/s	Longitud de onda λ m a 1000 Hz
Aire, 20 °C, 1014 hPa	343	0.343
Agua, 10 °C	1440	1,44
Goma (según dureza)	60...1500	0,06...1,5
Aluminio (varilla)	5100	5,1
Acero (varilla)	5000	5,0

Longitud de onda $\lambda = c/f = 2\pi/\omega$

Velocidad instantánea del sonido υ
Velocidad variable de una partícula oscilante. En el campo de sonido libre: $\upsilon = p/Z$. La percepción de vibraciones en baja frecuencia es casi proporcional a la velocidad instantánea del sonido.

Presión de sonido p
Presión variable del sonido, ocasionada por la oscilación del sonido en el medio. En el campo de sonido libre: $p = \upsilon \cdot Z$. Casi siempre se mide como valor efectivo.

Impedancia acústica específica Z
Caracteriza las propiedades transmisoras del medio para las ondas sonoras. $Z = p/\upsilon = \rho \cdot c$. Para el aire a 20 °C a una presión de 1013 mbar (760 torr), Z = 415 Ns/m³, para el agua a 10 °C, Z = 1,44 · 10 6 Ns/m³ = 1,44 · 10 6 Pa · s/m.

Potencia de sonido P
La potencia de sonido que emite una fuente sonora.
Potencia de sonido de algunas fuentes:

Una conversación, valor medio:	$7 \cdot 10^{-6}$ W
Violín, fortissimo	$7 \cdot 10^{-3}$ W
Potencia máxima de la voz humana	$2 \cdot 10^{-3}$ W
Piano, trompeta	0,2... 0,3 W
Órgano	1... 10 W
Bombo	10 W
Orquesta (75 músicos)	hasta 65 W

Intensidad del sonido I
(Fuerza del sonido) $I = P/S$, es decir, potencia de sonido a través de una superficie perpendicular a la dirección de propagación. En el campo de sonido libre:

$$I = p^2/\rho \cdot c = \upsilon^2 \cdot \rho \cdot c$$

Efecto Doppler
Se produce con fuentes sonoras en movimiento. Si la distancia entre la fuente sonora y el observador se hace menor, el tono del sonido que llega (f') resulta más alto que el tono real (f) y parece cada vez más grave al aumentar la distancia. Si el observador y la fuente sonora se mueven sobre una misma recta, entonces,

$f'/f = (c - u')/(c - u)$, siendo

c la velocidad del sonido, u' la velocidad del observador y u la velocidad de la fuente.

Intervalo (escala)
Es la relación entre las frecuencias de dos notas. Para la "escala equitemperada" de nuestros instrumentos musicales (escala cromática introducida por J. S. Bach), la octava (intervalo 2:1) está dividida en doce semitonos, con relación constante $\sqrt[12]{2}$ = 1,0595; es decir, una serie de cualquier número de intervalos temperados (armoniosos) conduce siempre de nuevo a un intervalo temperado. Por el contrario, en la escala diatónica, una serie de intervalos puros casi nunca lleva a otro intervalo puro. (La escala diatónica tiene la relación de frecuencias 1, 16/15; 9/8; 6/5; 5/4; 4/3; 7/5; 3/2; 8/5; 5/3; 9/5; 15/8; 2.)

Espectro del sonido
La dependencia del nivel de presión del sonido (sonido del aire o de cuerpos), de la frecuencia, se representa en el espectro del sonido mediante un análisis de frecuencias.

Espectro de banda de la octava
El nivel de sonido se determina y representa en la anchura de la banda de la octava. Octava: Intervalo de frecuencias que guardan la relación 1:2. Frecuencia media de la octava $f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$. Frecuencias medias recomendadas: 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000Hz.

Espectro de la banda de un tercio
Los niveles de sonido se determinan y representan en anchos de banda de un tercio de octava parte. El ancho de banda, al igual que el espectro de banda de la octava, es relativamente constante a la frecuencia media.

Insonorización
Disminución de la influencia del sonido por interposición de una pared reflectante (aislante) entre la fuente sonora y su lugar de influencia.

Amortiguación del sonido, absorción de sonido
Pérdida de energía sonora por la reflexión en las superficies limitadoras y también por la propagación en el medio.

Grado de absorción de sonido α
Relación entre la energía del sonido no reflejado y la del incidente. En el caso de reflexión total α = 0; si la absorción es total α = 1.

Reducción del ruido
Reducción de la emisión de ruido: reducción de las excitaciones primarias de ruidos mecánicos o electromecánicos de los cuerpos y de los ruidos de corrientes; amortiguación y distorsión de oscilaciones de resonancia; reducción de las superficies de reflectantes efectivas; encapsulado.

Construcción de poco ruido
Empleo de técnicas de simulación (análisis modal, variación modal, cálculo de elementos finitos, cálculo de acoplamiento aire-sonido) para el cálculo previo y la optimización del comportamiento acústico de nuevas construcciones.

Magnitudes para la medición de emisiones sonoras

Normalmente las magnitudes para el campo sonoro se dan como valores efectivos y dependientes de una frecuencia (valoración) que se expresa por medio del índice A en el símbolo de fórmula correspondiente.

Nivel de potencia de sonido L_W
La potencia de sonido de una fuente sonora se describe por medio del nivel de potencia de sonido L_W. Es el décuplo del logaritmo decimal de la relación entre la potencia de sonido calculada y la potencia de sonido de referencia $P_0 = 10^{-12}$ W. La potencia de sonido no se puede medir directamente. Se calcula partiendo de magnitudes del campo de sonido que se forma

alrededor de la fuente. Normalmente se hace uso para ello del nivel de presión de sonido, L_p en determinadas posiciones alrededor de la fuente (ver DIN 45635). También es posible hallar el valor de L_W partiendo del nivel de intensidad de sonido L_i, medido en superficies parciales de una superficie envolvente de la fuente sonora. En el caso de que la radiación total de ruido atraviese uniformemente una superficie de $S_0 = 1\ m^2$, el nivel de presión de sonido L_p y el nivel de intensidad de sonido L_i tienen el valor del nivel de potencia de sonido L_W.

Nivel de la presión de sonido L_p
El décuplo del logaritmo decimal de la relación entre el cuadrado del valor efectivo de la presión de sonido y el cuadrado de la presión de sonido de referencia

$p_0 = 20\ \mu Pa$. $L_p = 10 \log p^2/p_0^2$

o bien

$L_p = 20 \log p/p_0$

El resultado se da en decibelios (dB).

Para caracterizar fuentes sonoras se utiliza frecuentemente el nivel de presión de sonido L_{pA} relacionado con la frecuencia, evaluado en A, a la distancia de un metro.

Nivel de intensidad de sonido L_I
Es el décuplo del logaritmo decimal de la relación entre la intensidad del sonido y la intensidad del sonido de referencia:

$I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$. $L_I = 10 \log I/I_0$.

Acción conjunta de varias fuentes sonoras
Si se superponen dos campos de sonido independientes, hay que sumar las intensidades de sonido o los cuadrados de la presión de sonido. El nivel total de sonido se obtiene entonces, partiendo de los niveles de sonido particulares, tal como sigue:

Diferencia entre dos niveles de sonido particulares	Nivel de sonido total = nivel de sonido particular + suplemento de:
0 dB	3 dB
1 dB	2,5 dB
2 dB	2,1 dB
3 dB	1,8 dB
4 dB	1,5 dB
6 dB	1 dB
8 dB	0,6 dB
10 dB	0,4 dB

Medición de ruidos y valores límite en automóviles

Los procedimientos de comprobación prescritos por la ley se refieren exclusivamente al ruido externo. La directiva 81/334 CEE define procedimientos de medición y valores límite para el ruido en reposo y en marcha.

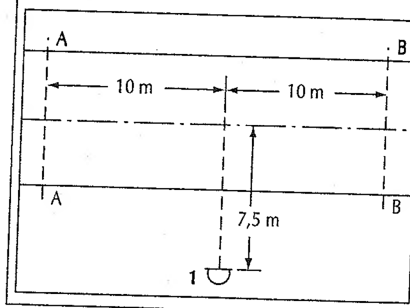
Ruido en marcha
El vehículo se desplaza a una velocidad constante y al cruzar la línea A-A, distante 10 m del plano del micrófono, acelera a plena potencia hasta abandonar la zona de medición en la línea B-B (también distante 10 m del plano del micrófono). Se define como valor de ruido en marcha el nivel sonoro máximo medido (distancia del micrófono 7,5 m al centro del carril de desplazamiento).

Los automóviles con caja de cambios manual y cuatro marchas, se comprueban utilizando la segunda marcha. Si tienen más de cuatro marchas hacia delante, entonces en la segunda y tercera marchas. El valor de sonido corresponde al promedio aritmético de ambos niveles máximos de sonido.

Para cambios automáticos hay prescripciones especiales.

Ruido en reposo
Se mide para facilitar la comprobación ulterior del desarrollo del vehículo en las cercanías del silenciador del tubo de escape. Durante la medición hay que poner el motor a 3/4 de las revoluciones, a que desarrolle su potencia nominal. Después de conseguir la constancia del número de revoluciones, hay que poner rápidamente la válvula de mariposa en la posición de marcha en vacío (ralentí). Durante este proceso de cambio se medirá el nivel de presión de sonido máximo, evaluado en A a 50 cm de distancia de la boca de salida, bajo un ángulo de (45 ± 10)° en el plano horizontal respecto a la dirección de escape de los gases. Esto se registrará en los documentos del vehículo en dB(A), con adición de una 'P' (para diferenciarlo de los datos obtenidos por métodos de medición más antiguos). Para la medición de los ruidos en reposo no hay prescritos valores límite.

Disposiciones de medición del ruido en marcha según DIN 81/334/EWG hasta DIN 84/424/EWG
1 *Micrófono*



Valores límite y tolerancias en dB(A) para la emisión de ruidos de los vehículos a motor

Clase de vehículo	Alemania 84/424/CEE desde 1988	Alemania § 49/3 cod. circ. Camion.sil	Alemania 92/97/CEE 10/'95	Suiza
Turismos				
Con motor Otto o diesel	77 + 1	–	74 + 1	75 + 1
Con motor diesel de iny.dir.	78 + 1	–	75 + 1	–
Camiones y furgonetas				
Peso tot. adm. < 2 t	78 + 1	–	76 + 1	77 + 1
Con mot. diesel iny. directa	79 + 1	–	77 + 1	–
Furgonetas				
Peso tot.admisible 2 a 3,5 t	79 + 1	–	76 + 1	77 + 1
Con mot. diesel iny. directa	80 + 1	–	77 + 1	–
peso tot. admisible > 3,5 t pot. motor hasta 150 kW	80 + 1	–	78 + 1	80 + 1
pot. motor > 150 kW	83 + 1	–	80 + 1	82 + 1
Camiones				
Peso tot. adm. 2 a 3,5 t	79 + 1	77/78	76 + 1	77 + 1
con mot. diesel iny. dir.	80 + 1	–	77 + 1	–
Peso tot. adm. > 3,5 t pot. mot, hasta 75 kW	81 + 1	77 + 1	77 + 1	80 + 1
pot. mot. hasta 150 kW	83 + 1	78 + 1	78 + 1	82 + 1
pot. mot. > 150 kW	84 + 1	80 + 1	80 + 1	84 + 1

Los valores límite mayores se aplican a vehículos todo terreno y de tracción a las cuatro ruedas. Los valores límite adicionales son para ruidos de frenos de motor y de aire comprimido.

Ruido interior
Para los niveles de sonido en el interior del vehículo no existen normativas legales. Se medirá el nivel de presión de sonido, evaluado en A, con el vehículo a velocidad constante o sólo ligeramente acelerado en el intervalo alrededor de los 60 km/h o al 40% de su velocidad máxima. Un lugar fijo de medición es en el asiento del conductor; los otros puntos se eligen considerando la posición de los oídos de los pasajeros. No está prevista ninguna indicación de dichos valores en la documentación.

Magnitudes para la percepción de sonidos

Nivel de evaluación L_r
La influencia del ruido en el hombre se califica por medio del nivel de evaluación L_r (ver también DIN 45 645). Es una medida para la percepción media de ruidos durante un tiempo de evaluación (por ejemplo, 8 horas de trabajo), que para el caso de ruidos que varíen con el tiempo, se mide ya sea con aparatos directos de integración o bien se calcula por distintas medi-

ciones del nivel de presión de sonido y los intervalos de tiempo correspondientes (ver también DIN 45641). Las particularidades del ruido presente, tales como constancia del impulso o constancia del tono, pueden tenerse en cuenta por medio de suplementos del nivel (valores orientativos en la tabla de más abajo).

Nivel de sonido constante equivalente en energía L_{Aeq}
En el caso de ruidos que oscilan con el tiempo, el nivel de presión de ruido medio, evaluado en A, formado por los niveles de presión de ruido teniendo en cuenta sus tiempos de acción, es igual a un nivel de ruido constante equivalente presente todo el tiempo de la evaluación, con una energía igual al valor medio de las reales actuantes (ver también DIN 4561). El nivel de ruido constante equivalente se ha tomado, con modificaciones, de "la ley de protección contra el ruido de los aviones" (DIN 45 643).

Valores orientativos del nivel de evaluación (Ruido TA del 16/7/1968), medidos delante de la vivienda más cercana (a 0,5 m delante de una ventana abierta):

	De día	De noche
Sectores (barrios) puramente industriales	70 dB (A)	70 dB (A)
Barrios con predominio de industrias	65 dB (A)	50 dB (A)
Barrios mixtos	60 dB (A)	45 dB (A)
Barrios con predominio de viviendas	55 dB (A)	40 dB (A)
Barrios residenciales	50 dB (A)	35 dB (A)
Sanatorios, hospitales, etc.	45 dB (A)	35 dB (A)

Calificación subjetiva de ruidos

El oído humano es capaz de diferenciar dinámicamente aprox. 300 grados de volumen de sonido y 3000 a 4000 grados de frecuencias (tonos) en una alta resolución en el tiempo y de computarlos según esquemas complejos. Por ello las sensaciones de volumen de sonido no necesariamente son paralelas a los niveles técnicos (orientados según la energía) de sonido.

Los niveles de sonido calificados en A, que consideran la sensibilidad del oído humano, indican la medida en fonos y la calificación del volumen de sonido en sonos, proporcionan de forma aproximada unos valores que expresan la sensación subjetiva del nivel de volumen de sonido. Pero la molestia y el potencial de desagrado de ruidos técnicos no pueden ser descritos con valores de nivel de sonido. Incluso un vibrar apenas audible puede ser percibido, a pesar de un entorno de alto nivel de ruidos, como extremadamente molesto.

Nivel de volumen de un sonido L_s
Medida de comparación de la percepción subjetiva de un sonido, medido en fon. El nivel de volumen de un sonido (tono o ruido) se determina subjetivamente por comparación auditiva con el sonido estándar. El sonido estándar es el de una onda sonora plana de frecuencia de 1000 Hz que llega de frente a la cabeza del oyente observador. Internacionalmente se designa el nivel de volumen por "Loudness level". Una diferencia de 8 a 10 fon se recibe como el doble o la mitad de volumen.

Fon
El sonido recibido con el mismo volumen que el sonido estándar tiene un valor determinado de dB. Este valor es el que se da como fon para el volumen del sonido que se ensaya. Puesto que la percepción del sonido por el hombre depende de la frecuencia, no coinciden, por ejemplo, los dB para los tonos del sonido que se ensaya con los dB del sonido estándar (excepto a la frecuencia de referencia de 1000Hz), pero sí en cambio el número de fon. En la figura pueden verse las curvas de igual volumen de sonido según Fletcher-Munson.

Volumen de sonido S (Loudness) en sonos
Medida para la magnitud de la percepción subjetiva del sonido, para valorar cuánto más alto o más bajo es un sonido, al compararlo con otro.

Valor: El nivel de volumen de sonido L_s = 40 fon es igual al volumen S = 1 sono. La relación no es lineal; si se duplica o reduce a la mitad el volumen S, la diferencia en fon es aprox. 10 fon.

Para el sonido estacionario existe un procedimiento normalizado ISO para el cálculo del nivel de volumen de niveles de tercios (según Zwicker). Toma en consideración una ponderación de frecuencias y efectos de encubrimiento del oído.

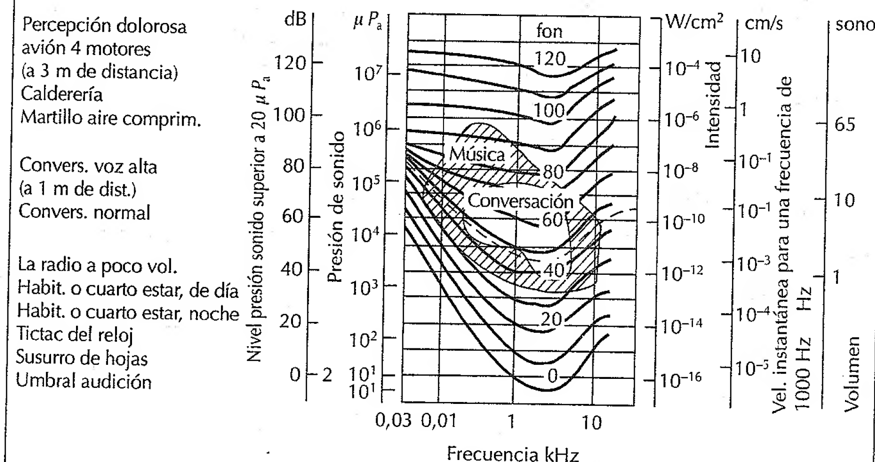
Nivel de tono, nitidez
El espectro del sonido audible puede ser subdividido en 24 grupos de frecuencias (bark), orientadas según el oído, que representan tonalidades y rangos de la percepción de la altura de tonos. De la distribución del volumen de sonido y sus tonalidades (parecido al espectro de tercios) se deducen valores de otras percepciones auditivas subjetivas, como p.ej. la nitidez.

Control acústico cualitativo
Calificación de los niveles de ruido y de molestia y clasificación de errores de función del sonido audible o corporal en la producción, p.ej. en la aceleración de motores eléctricos, predominantemente mediante comprobadores humanos. Para misiones de comprobación especiales se utilizan aparatos automáticos de comprobación, pero actualmente todavía no alcanzan la flexibilidad, selectividad ni capacidad de los comprobadores humanos.

Diseño del ruido

Es la formación psicoacústica expresamente deseada, mediante medidas constructivas, de ruidos de funcionamiento. La meta primaria no es la reducción del ruido, sino su grado de aceptación, la representación de diferentes cualidades (p.ej. sonido deportivo mediante un sonido áspero de tubo de escape) o ruidos específicos incorporados (p.ej. el típico ruido al cerrar las puertas del turismo; "corporate sound").

Orden de valores de los ruidos *en escalas objetivas y subjetivas, curvas de igual nivel de volumen, curva A de evaluación del medidor de nivel de sonido*



Calor

Símbolos y unidades

Para los nombres de las unidades ver las páginas 10 a 16.

Para la conversión de unidades de calor, ver págs. 32, 33. Dilatación térmica, calor específico, calor de evaporación, ver pág. 178.

Magnitud		Unidad SI
A	Superficie, sección transversal	m^2
c	Calor específico c_p isóbaro (a presión const.) c_v isócoro (a volumen const.)	J/(kg · K)
k	Coeficiente transmisión térmica	W/(m^2 · K)
m	Masa	kg
p	Presión	N/m^2
H	Entalpía (conten. calorífico)	J
Q	Calor	J
$\dot{Q}$	Flujo de calor = Q/z	W
R	Constante molar de los gases = 8,314 J/mol K (igual para todos los gases)	J/(mol K)
R_i	Constante especial gases $R_i = R/M$ (M = peso molar)	J/(kg K)
S	Entropía	J/K
s	Distancia	m
T	Temperatura termodinámica $T = t + 273$ T_1 superior, T_2 inferior	K
ΔT	Diferencia temperaturas $= T_1 - T_2 = t_1 - t_2$	K
t	Temperatura centígrada t_1 superior, t_2 inferior	°C
V	Volumen	m^3
v	Volumen específico	m^3/kg
W	Trabajo	J
z	Tiempo	s
α	Coeficiente transmisión térmica α_a exterior, α_i inferior	W/(m^2 · K)
ε	Grado de emisión	
λ	Conductividad térmica (valores en pág. 15)	W/(m · K)
ρ	Densidad	kg/m^3

Conversión de unidades en desuso (ver también las págs. 14 y 15)

1 kcal (kilocaloría) = 4186,8 J

≈ 4200 J ≈ 4,2 kJ

1 kcal/(m · h · grad) = 1,163 W/(m · K)

Entalpía (contenido de calor)

$$H = m \cdot c \cdot T$$

La diferencia de entalpía (ΔH) es el calor que se libera (Q) en un cambio de temperatura ($\Delta T = T_1 - T_2$)

$$\Delta H = H_1 - H_2 = Q$$
$$= m \cdot c \cdot \Delta T = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$$

Transmisión del calor

Se distinguen tres formas de transmisión del calor:

Conducción térmica: El calor se transmite por contacto de las partículas que forman los cuerpos sólidos, líquidos o gaseosos.

Convección: El calor se transmite por el movimiento de las partículas de un líquido o gas en movimiento. En la convección natural, el estado de movimiento se produce por fenómenos de empuje, y, en la convección forzada, se mantiene por medios artificiales.

Radiación: El calor se transmite de un cuerpo a otro sin partículas portadoras, sino por ondas electromagnéticas.

Conducción del calor

El flujo de calor reinante en un cuerpo de sección transversal constante A, entre dos planos paralelos de la sección, separados por una distancia s para una variación de temperatura ΔT es

$$Q = \frac{\lambda}{s} A \cdot \Delta T$$

Radiación del calor

El aire y el espacio vacío son permeables a la radiación. Los cuerpos sólidos, la mayoría de los líquidos y diversos gases en determinados campos de longitudes de onda, no son permeables a la radiación.

El calor radiado por una superficie A a la temperatura T es:

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

donde σ = 5,67 · 10^{-8} W/m^2 · K^4 es la constante de radiación de un cuerpo negro y ε el grado de emisión de la superficie (ver la tabla que sigue).

Grado de emisión ε

en el intervalo hasta 300 °C (537 K)

Cuerpo negro[1]	1
Aluminio sin pulir	0,07
Aluminio pulido	0,04
Hielo	0,9
Esmalte blanco	0,91
Vidrio	0,93
Hierro colado, rugoso, oxidado	0,94
Hierro colado, torneado	0,44
Madera, lisa	0,9
Mortero de cal, rugoso, blanco	0,93
Cobre oxidado	0,64
Cobre pulido	0,05
Latón mate	0,22
Latón pulido	0,05
Níquel pulido	0,07
Aceite	0,82
Papel	0,80
Porcelana vitrificada	0,92
Hollín	0,93
Plata pulida	0,02
Acero oxidado, mate	0,96
Acero pulido, sin aceite	0,06
Acero pulido, aceitado	0,40
Agua	0,92
Piedras refractarias	0,93
Cinc mate	0,23
Cinc pulido	0,05
Estaño pulido	0,06

Transmisión de calor a través de una pared

El flujo de calor a través de una pared de superficie A y espesor s es, para una diferencia de temperaturas ΔT

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T$$

El coeficiente de transmisión k se calcula de

$$1/k = 1/\alpha_i + s/\lambda + 1/\alpha_a$$

Resistencia al paso del calor

Se compone de las resistencias al paso del calor de las distintas capas de la pared:

$$s/\lambda = s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + \ldots$$

En la pág. 184 se da la conductividad térmica λ de distintos materiales.

[1] Un "cuerpo negro" se define como aquel que absorbe totalmente la luz y el calor que le inciden y, por ello, cuando se calienta emite el máximo de luz que un cuerpo puede radiar. Un cuerpo negro puede ser, por ejemplo, la abertura de un tubo de carbón.

Coeficientes de transmisión de calor α

(Convección y radiación)

Tipo de material, de superficie de la pared, etc.	α, o α_a W/m^2 · K
Movimiento natural del aire	
en espacio cerrado	
Paredes, ventanas interiores	8
Ventanas exteriores	11
Suelos, techos	
de abajo arriba	8
de arriba abajo	6
Aire forzado	
en una pared plana	
y con vel. media del viento	
w = 2 m/s	15
con vel. media del viento	
w > 5 m/s	6,4 · $w^{0,75}$
Agua en una pared plana	
en reposo	500 ... 2000
en movimiento	2000 ... 4000
en ebullición	2000 ... 6000

Resistencia al paso del calor de las capas de aire s/λ

(Conducción + convección + radiación)

Posic. de la capa de aire	Espesor capa de aire en mm	Resist. al paso del calor s/λ en m^2 · K / W
Capa aire vertical	10	0,14
	20	0,16
	50	0,18
	100	0,17
	150	0,16
Capa aire horizontal		
Flujo calor desde abajo hacia arriba	10	0,14
	20	0,15
	50	0,16
Flujo calor desde arriba hacia abajo	10	0,15
	20	0,18
	50	0,21

Requerimiento calorífico para calefacción doméstica

Para calentar 1 m^2 de vivienda se requieren entre 50 y 60 W.

Medición técnica de la temperatura

(Directiva VDE/VDI 3511)

Dispositivo de medida	Intervalo de medición	Funcionamiento	Ejemplos de utilización
Termómetro de vidrio con líquido	–200 a 1000 °C	Dilatación térmica del líquido indicada en el tubito de vidrio: Relleno: pentano (–200 a 30 °C) Alcohol (–100 a 210 °C) Tolueno (–90 a 100 °C) Mercurio (–38 a 600 °C) Galio (hasta 1000 °C)	Para líquidos y gases, para el control de instalaciones de vapor, calefacción y secado; instalaciones de refrigeración; en tuberías con medios circulantes.
Termómetro de muelle	–50 a 500 °C	Un líquido en un recipiente buzo, por su dilatación actúa sobre un resorte tubular, que a su vez mueve una aguja o aparato registrador. El recipiente contiene mercurio o tolueno, o vapor a presión (éter, hexano, tolueno, xileno).	Para el control y registro de temperaturas (hasta a 35 mm de distancia) en centrales eléctricas, fábricas, instalaciones de calefacción, cámaras frigoríficas.
Termómetro de dilatación de varilla	0 a 1000 °C	Dilatación diferencial de dos metales (varilla dentro de un tubo)	Reguladores de temperatura
Termómetro de bimetales	–50 a 400 °C	Curvado de tiras metálicas de dos metales diferentes.	Reguladores de temperatura
Termómetro de resistencia	–220 a 850 °C	Variación de la resistencia al cambiar la temperatura Hilos platino –200 a 850 °C Hilos níquel –60 a 150 °C Hilos cobre –50 a 150 °C Semiconductores –40 a 180 °C	Medición de temperaturas en máquinas, bobinas, instalaciones de refrigeración. Es posible la transmisión a distancia.
Conductor caliente (termistores)	0 a 500 °C	Fuerte disminución de la resistencia eléctrica al aumentar la temperatura.	Medición de pequeñas diferencias de temperatura cuando se precisa elevada sensibilidad de medición.
Termoelementos (par térmico)	–200 a 3000 °C	Termotensión de dos metales, cuyos puntos de conexión están a diferente temperatura.	Medición de temperaturas de máquinas y junto a ellas. Es posible la transmisión a distancia.
Termómetro de radiación (pirómetro, cámara de infrarrojos, pirómetro de alta velocidad)	> 600 °C (en especial a partir de –40 °C)	La radiación emitida por un cuerpo sirve para medir la temperatura. Se determina con termoelementos o fotoelementos, o por comparación de densidades luminosas. Debe tenerse en cuenta el grado de emisiones.	Hornos de fusión y de recocido. Temperaturas superficiales. Objetos en movimiento, termografimetría, tiempo muy breve de respuesta.
Colores para medir la temperatura **Lápices para medir la temperatura**	40 a 1350 °C	Cambio de color cuando se rebasa una determinada temperatura. Hay colores y lápices con un cambio y con varios cambios (hasta 4). El color cambiado permanece después del enfriamiento.	Temperaturas de piezas que giran, en lugares inaccesibles, en procesos de mecanizado; aviso de elevación excesiva de temperatura; ensayo de materiales (grietas).
Termómetros y pirómetros de aspiración	1800 a 2800 °C	Desde la llama se aspira gas.	Medida de la temperatura de la llama (indicación lenta)

Otros métodos de medición de temperaturas: espectroscopia, interferometría, termometría de cuarzo, termometría de humos, cristales líquidos, termómetros acústicos y magnéticos.

Termodinámica

Primer principio:
La energía no se crea ni se destruye; sólo se modifica, como por ejemplo, energía térmica en energía mecánica.

Segundo principio:
El calor no se transforma totalmente en ninguna otra forma de energía, por ejemplo, en trabajo mecánico. Todos los procesos naturales y técnicos de transformación de energía son irreversibles, y discurren en una dirección (según el estado probable). El calor sólo pasa libremente de los cuerpos más calientes a los más fríos; a la inversa sólo puede hacerlo con aporte de energía.

Entropía S es la medida de la energía de un sistema, que ya no puede convertirse en trabajo. La parte de energía capaz de producir trabajo también se denomina Exergía.

En los procesos reversibles, la suma de las variaciones de entropía es igual a cero.

El efecto útil máximo en la transformación de calor en trabajo mecánico, se consigue por un proceso reversible en el cual el rendimiento térmico:

$$\eta_{th} = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = (T_1 - T_2)/T_1$$

Trabajo en una transformación:

$$W = Q_1\,(T_1 - T_2)/T_1$$

(Ciclo de Carnot)

Cambios de estado en los gases

(ecuación general de estado: $p \cdot v = R_1 \cdot T$)

Cambio de estado	Característica	Calor específico[1]	Ecuaciones (k, K = constante)[1]	Ejemplos
isobárico	Presión constante	c_p	$p = k$ $v = K \cdot T$	Combustión "a presión constante" en el motor diesel; calentamiento o enfriamiento en una caldera de circulación.
isocórico	Volumen constante	c_v	$v = k$ $p = K \cdot T$	Combustión "a volumen constante" en el motor Otto, calentamiento o enfriamiento en una caldera cerrada.
isotérmico	Temperatura constante	–	$T = k$ $pv = K$	Cambios de estado que discurren lentamente (el calor pasa a través de las paredes de separación).
adiabático	No se incorpora ni extrae calor (no hay interc. de calor)	–	$P \cdot v^{\chi} = k$ $T \cdot v^{\chi - 1} = k$	Carrera de compresión o de descompresión sin pérdidas por enfriamiento (se consigue virtualmente en las máquinas rápidas).
isoentrópico	adiabético y sin rozamiento (reversible)	–	$T^{\chi} \cdot p^{1 - \chi} = k$	Proceso de comparación teóricamente óptimo alcanzable.
politrópico	cambio general de estado	$c = \dfrac{c_v(n - x)}{n - 1}$	$P \cdot v^n = K$ $T \cdot v^{n-1} = K$ $T^n \cdot p^{1-n} = K$	Carrera de compresión y de trabajo en los motores de combustión y máquinas de vapor (n = 1,2 ... 1,4)

[1] c_p, c_v y $\chi = c_p/c_v$ ver página 190, $n = \dfrac{\lg p_2 - \lg p_1}{\lg v_2 - \lg v_1}$

Electrotecnia

Magnitudes y unidades

Magnitud		Unidades SI
A	Superficie	m²
a	Distancia	m
B	Densidad flujo magn., inducción	T = Wb/m² = V · s/m²
C	Capac. eléctrica	F = C/V
D	Densidad flujo eléctr., dislocación	C/m²
E	Intensidad campo eléctr.	V/m
F	Fuerza	N
f	Frecuencia	Hz
G	Conductiv. eléctrica	S = 1/Ω
H	Intensidad campo magnético	A/m
I	Intensidad corriente eléctr.	A
J	Polarización magnética	T
k	Equivalente electroquímico[1]	kg/C
L	Inductividad	H = Wb/A = V · s/A
l	Longitud	m
M	Polarización eléctrica	C/m²
P	Potencia	W = V · A
P_s	Pot. aparente[2]	V · A
P_q	Pot. reactiva[3]	var
Q	Cantidad electricidad, carga	C = A · s
q	Sección transversal	m²
R	Resistencia eléctrica	W = V/A
t	Tiempo	s
r	Radio	m
U	Tensión eléctrica	V
V	Tensión magnética	A
W	Trabajo, energía	J = W · s
w	Núm. de espiras	–
X	Resist. reactiva (Reactancia)	Ω
Z	Resist. aparente (Impedancia)	Ω
ε	Constante dieléctrica	F/m C/(V · m)
ε_0	Constante campo eléctrico $= 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ F/m	
ε_r	Coefic. dieléctrico	–
Θ	Intensidad total circulante	A
μ	Permeabilidad	H / m = V · s/(A· m)
μ_0	Constante campo magnético $= 1{,}257 \cdot 10^{-6}$ H/m	
μ_r	coefic. permeabil.	–
ρ	resistencia eléctrica específica (resistividad)[4]	Ω · m

Magnitud		Unidades SI
σ	conductibilidad eléctrica específica (= $1/\rho$)	1/(Ω · m)
Φ	Flujo magnético	Wb = V · s
φ	Ángulo de desfase	° (Grados)
φ	(P) Potencial en el punto P	V
ω	Frecuencia circ. (= $2 \cdot \pi \cdot f$); (pulsac.)	Hz

Los otros símbolos, fórmulas y unidades, en el texto.

Conversión de unidades en desuso (ver también pág. 15)

- Intensidad de campo magnético H:
  1 Oe (Oersted) = 79,577 A/m
- Densidad de flujo magnético B:
  1 G (Gauss) = 10^{-4} T
- Flujo magnético Φ
  1 M (Maxwell) = 10^{-8} Wb.

Campos electromagnéticos

Los campos electromagnéticos y sus efectos son objeto de la electrotecnia. El origen de estos campos son las cargas eléctricas (o en su caso múltiplos enteros de la carga eléctrica elemental) . Las cargas en reposo generan un campo eléctrico, y en movimiento, un campo magnético adicional. La combinación de ambos campos se describe por medio de las ecuaciones de Maxwell. La identificación de los campos se consigue por medio de la fuerza que efectúan sobre otras cargas eléctricas. La fuerza entre dos cargas puntuales Q_1 y Q_2 viene definida por la

(1) La unidad utilizada es g/C

(2) Las potencias aparentes se dan casi siempre en V · A en vez de W.

(3) Las potencias reactivas se dan casi siempre en var (voltamperes reactivos) en vez de W.

(4) La unidad usual es Ω · mm²/m, con la sección del alambre en mm² y la longitud del alambre en m. Conversión:1 Ω · mm²/m = 10^{-6} · Ωm = 1 μΩm.

Ley de Coulomb:

$F = Q_1 \cdot Q_2/(4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2)$

La fuerza sobre una carga en movimiento en un campo magnético se expresa por medio de la Fuerza de Lorentz:

$F = Q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\alpha$

ε_0 es la constante de campo eléctrico, Q_1 y Q_2 las cargas, a la distancia de Q_1 a Q_2, v la velocidad de la carga Q, B la inducción magnética, α el ángulo entre la dirección del movimiento y el campo magnético.

Campo eléctrico

El campo eléctrico se describe por medio de las siguientes magnitudes:

Potencial eléctrico φ (P) o tensión U

El potencial φ (P) en el punto P da el trabajo necesario, por carga, para llevar la carga Q desde un punto de referencia al punto P:

$\varphi(\text{P}) = W(\text{P})/Q$

La tensión eléctrica U es la diferencia de potencial (para el mismo punto de referencia), entre los puntos P_1 y P_2;

$U = \varphi(P_2) - \varphi(P_1)$

Intensidad de campo eléctrico E

La intensidad del campo eléctrico en el punto P depende del lugar P y de las cargas circundantes. Describe la pendiente máxima de la caída de potencial en el punto P. Para la intensidad de campo a la distancia a de una carga puntual Q se cumple:

$E = Q/(4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2)$

Sobre una carga Q en el punto P actúa la fuerza

$F = Q \cdot E$

Campo eléctrico y materia

Polarización eléctrica M y densidad de flujo eléctrico

El campo eléctrico produce en un material polarizable (dieléctrico), dipolos eléctricos (cargas positivas y negativas a la distancia a; el producto $Q \cdot a$ se llama momento dipolar). El momento dipolar por unidad de volumen se llama polarización M.

La densidad de flujo eléctrico da la densidad de desplazamiento eléctrico y es igual a

$D = \varepsilon \cdot E = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot E = \varepsilon_0 \cdot E + M$

siendo

ε: Constante dieléctrica del material, $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$

ε_0: Constante del campo eléctrico (del vacío)

ε_r: Coeficiente dieléctrico (relativo). Para el aire $\varepsilon_r = 1$, para otros materiales, véanse págs. 213 y 214.

Capacidad C de algunos dispositivos conductores en F

Condensador placas de n placas paralelas	$C = (n-1)\dfrac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{a}$	ε_r, ε_0 n A a	ver arriba Número de placas Superficie de una placa en m² Distancia entre placas en m
Conductores paralelos (línea doble)	$C = \dfrac{\pi\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln\left(\frac{a-r}{r}\right)}$	l a r	Longitud de la línea doble en m Separación entre conductores en m Radio de los conductores en m
Línea concéntrica (condensador cilíndrico)	$C = \dfrac{2\pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln(r_2/r_1)}$	l r_1, r_2	Longitud de la línea en m Radios de los conductores en m con $r_2 > r_1$
Conductor a tierra	$C = \dfrac{2\pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln(2a/r)}$	l a r	Longitud del conductor en m Distancia entre conductor y tierra en m Radio del conductor m
Esfera con respecto a superficies lejanas	$C = 4\pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot l$	r	Radio de la esfera en m

Condensador
Se llama condensador a dos electrodos separados por un dieléctrico. Al aplicar una tensión se cargan los electrodos con la misma intensidad, pero de signo contrario. Para la carga absorbida Q se tiene

$$Q = C \cdot U$$

C se llama Capacidad del condensador y depende de la forma geométrica de los electrodos, de su separación y de la constante dieléctrica del dieléctrico.
El contenido energético de un condensador cargado, es:

$$W = Q \cdot U/2 = Q^2/(2C) = C \cdot U^2/2.$$

La fuerza de atracción de dos placas paralelas (de superficie A) separadas una distancia a, es:

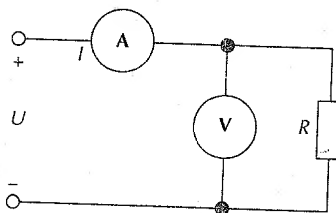
$$F = E \cdot D \cdot A/2 = \varepsilon_t \cdot \varepsilon_0 \cdot U^2 \cdot A/(2\, a^2).$$

Corriente continua

Las cargas en movimiento constituyen una corriente I que se caracteriza por su intensidad. Se da en amperes. En la corriente continua, el sentido y magnitud de la intensidad de corriente son independientes del tiempo.

Sentido de la corriente y medición
Si en el exterior de la fuente generadora la corriente circula del polo positivo al polo negativo, se denomina positiva (sentido técnico de la corriente; en realidad los electrones van del polo negativo al positivo).
La medición de la corriente se realiza con un amperímetro (A) intercalado en el circuito; la medición de la tensión se realiza con un voltímetro (V) montado en paralelo.

Medición de la intensidad y la tensión
R Consumidor, A Amperímetro en serie, V Voltímetro en paralelo



Ley de Ohm
Define la relación entre tensión e intensidad en los conductores eléctricos sólidos y líquidos

$$U = R \cdot I$$

La constante de proporcionalidad R se llama resistencia óhmica, el resultado viene dado en ohms (Ω). El valor inverso de la resistencia se llama conductancia

$$G = 1/R$$

Resistencia óhmica[1]
Depende del material y de sus dimensiones
Alambre redondo $R = \rho \cdot l/q = l/(q \cdot \sigma)$
Conductor hueco $R = \ln(r_2/r_1)/(2\pi \cdot l \cdot \sigma)$
ρ resistividad específica en $\Omega mm^2/m$,
$\sigma = 1/\rho$ conductividad eléctrica,
l longitud del alambre en m,
q sección transversal del alambre en mm^2,
r_2 y r_1 radios del alambre con $r_2 > r_1$.
En los metales la resistencia aumenta con la temperatura:

$$R_\delta = R_{20}\,[1 + \alpha\,(\delta - 20\ °C)]$$

R_δ resistencia a δ °C,
R_{20} resistencia a 20 °C,
α coeficiente térmico[2] en 1/K (= 1/ °C),
δ temperatura en °C.

En las proximidades del cero absoluto (–273 °C), la resistencia de muchos metales llega casi a cero (superconductibilidad).

Trabajo y potencia
Si por una resistencia circula una corriente se produce un trabajo, es decir, se genera una cantidad de calor

$$W = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t$$

y con él una potencia:

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2$$

Leyes de Kirchhoff
1. Regla de los nudos.
En todo punto de derivación (nudo), la suma de las intensidades que llegan es igual a la suma de las intensidades que salen.
2. Regla de las mallas.
Para todo circuito cerrado (malla) de una red de conductores, la suma de las tensiones parciales en las resistencias, es igual a la tensión total.

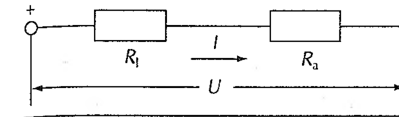
[1] Tabla para ρ ver pag. 211
[2] Tabla para α ver pag. 211.

Circuito de corriente continua

Circuito con consumidor

$$U = (R_a + R_l) \cdot I$$

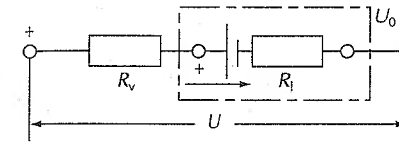
R_a Consumidor
R_l Resistencia del conductor



Carga de una batería

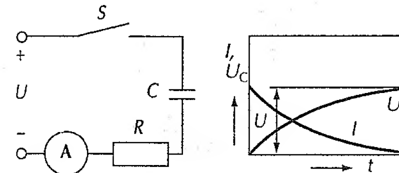
$$U - U_0 = (R_v + R_i) \cdot I$$

U tensión de la red, U_0 tensión en vacío (original)[1] de la batería, R_v resistencia adicional, R_i resistencia interna de la batería. Condición para la carga: Tensión de carga mayor que tensión en vacío de la batería.



Carga y descarga de un condensador
En la determinación de la carga y descarga de un condensador interviene la constante de tiempo $\tau = R \cdot C$.
Proceso de carga

$$I = U/R \cdot \exp(-t/\tau)$$
$$U_C = U[1 - \exp(-t/\tau)]$$



Conexión, Curvas de tensión e intensidad
Proceso de descarga

$$I = I_0 \cdot \exp(-t/\tau)$$
$$U_C = U_0 \cdot \exp(-t/\tau)$$

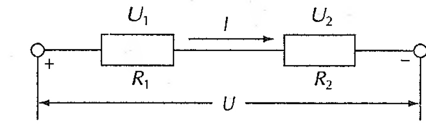
U tensión de carga, I intensidad de carga. U_C tensión del condensador, I_0 intensidad inicial, U_0 tensión en la descarga.

[1] Antiguamente FEM (Fuerza electromotriz)

Conexión en serie de resistencias

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + \ldots$$
$$U = U_1 + U_2 + \ldots$$

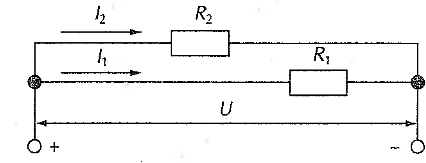
La misma intensidad en todas las resistencias.



Conexión en paralelo de resistencias

$$1/R_{tot} = 1/R_1 + 1/R_2 \text{ o bien}$$
$$G = G_1 + G_2$$
$$I = I_1 + I_2;\quad I_1/I_2 = R_2/R_1$$

Todas las resistencias tienen la misma tensión (2ª ley de Kirchhoff).

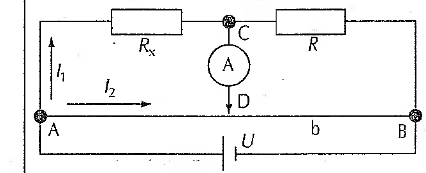


Medición de una resistencia
Se puede realizar por medio de mediciones de tensión y de intensidad, con ohmímetros de lectura directa, o por el método del puente, por ejemplo, el puente de Wheatstone. Si se regula el galvanómetro A del puente de Wheatstone por medio del contacto deslizante D hasta que no pase intensidad por el mismo, se tiene entonces

$$I_1 \cdot R_x = I_2 \cdot \rho \cdot a/q$$
$$I_1 \cdot R = I_2 \cdot \rho \cdot b/q$$

de donde: $R_x = R \cdot a/b$

Conexión del puente de Wheatstone
R_x Resistencia desconocida, R Resistencia conocida, AB Cable de medición homogéneo (de resistencia específica ρ) de sección uniforme q, A Galvanómetro, S Contacto deslizante



Conducción electrolítica de la corriente

Los materiales cuyas disoluciones o fusiones (sales, ácidos, bases) conducen la corriente, se llaman electrólitos. A diferencia de la conducción de la corriente en los metales, en este caso el paso de la corriente va unido a una descomposición química de los electrodos. La descomposición se llama electrólisis, y los electrodos ánodo (el polo positivo) y cátodo (el polo negativo).

Al disolverse, el electrólito se descompone (disociación) en diversos iones que se mueven libremente. Si se aplica una tensión, los iones positivos (cationes) emigran al cátodo y los negativos (aniones) al ánodo. Los cationes son, por ejemplo, todos los iones metálicos, así como también los iones amonio (NH_4^+) e hidrógeno (H^+). Los aniones son los iones no metálicos, oxígeno, halógenos y los radicales ácidos y OH (hidroxilo). (Aplicación a las baterías, pág. 803)

En los electrodos se neutralizan los iones y se separan. La relación entre la cantidad de materia separada y la carga transportada viene determinada por la ley de Faraday:

1. La cantidad de masa separada es proporcional a la intensidad de la corriente y al tiempo

$$m = k \cdot I \cdot t$$

siendo m la masa en g, I la intensidad en amperes, t el tiempo en s y k el equivalente electroquímico en g/C. El equivalente electroquímico k indica los gramos de iones que se separan con 1 coulomb:

$$k = A/(F \cdot w) = 1{,}036 \cdot 10^{-5}\ A/w$$

donde A es el peso atómico (ver tabla), w la valencia (ver tabla), F la constante de Faraday, igual a 96485 equivalente-gramo C/g. El equivalente-gramo es la cantidad en gramos, que corresponde al peso equivalente A/w.

2. Las masas separadas por la misma cantidad de electricidad, con electrólitos diferentes son proporcionales a los pesos equivalentes.

Polarización electroquímica

Para la conducción de la corriente por los electrólitos es válida con buena aproximación la ley de Ohm. Sin embargo, en la electrólisis se desprenden los denominados elementos inestables que generan una tensión U_z de sentido opuesto a la aplicada. La intensidad en la célula de resistencia R es

$$I = (U - U_z)/R$$

La modificación de los electrodos se llama polarización galvánica electrolítica y puede evitarse mucho mediante productos químicos oxidantes (los llamados despolarizantes), como peróxido de manganeso para los desprendimientos de hidrógeno.

Equivalente electroquímico k

Substancia	Valencia w	Equivalente electroquímic. $k\ 10^{-3}$ g/C
Cationes		
Aluminio Al	3	0,0932
Plomo Pb	2	1,0735
Cromo Cr	3	0,1796
Cadmio Cd	2	0,5824
Cobre Cu	1	0,6588
	2	0,3294
Sodio Na	1	0,2384
Níquel Ni	2	0,3041
	3	0,2027
Plata Ag	1	1,1180
Hidrógeno H	1	0,01044
Cinc Zn	2	0,3387
Aniones		
Cloro Cl	1	0,3675
Oxígeno O	2	0,0829
Oxhidrilo OH	1	0,1763
Clorato ClO_3	1	0,8649
Cromato CrO_4	2	0,6011
Carbonato CO_3	2	0,3109
Manganato MnO_4	2	0,6163
Permanganato MnO_4	1	1,2325
Nitrato NO_3	1	0,6426
Fosfato PO_4	3	0,3280
Sulfato SO_4	2	0,4978

Elementos galvánicos

Transforman la energía química en eléctrica y se componen de dos metales diferentes en una o dos disoluciones electrolíticas. La tensión en vacío depende del material de los electrodos y del electrólito. Ejemplos:

Elemento normal de Weston
Electrodos: Cd + Hg(–) y Hg_2SO_4 + Hg(+)
Electrólito: $CdSO_4$
Tensión: 1,0187 V a 20 °C

Elemento de Leclanché (pilas secas)
Electrodo: Zn(–) y C(+)
Despolarizante: MnO_2
Electrólito: NH_4Cl
Tensión: 1,5V

Acumulador o batería (pág. 803)

Corriente alterna

Una corriente que periódicamente cambia de magnitud y sentido (frecuentemente en forma sinusoidal) se llama corriente alterna. Su importancia técnica especial reside en sus buenas propiedades para el transporte de energía a distancia, porque por medio de transformadores puede transformarse en corriente de alta tensión.

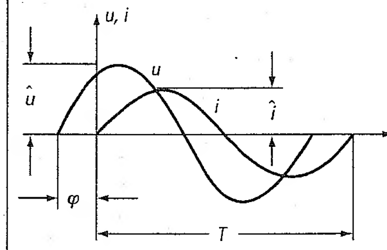
Frecuencias habituales de las redes de corriente alterna:
África 50 Hz, Asia, por lo general, 50 Hz, Australia 50 Hz, Europa 50 Hz, Norteamérica 60 Hz, Sudamérica 50/60 Hz.
Red ferroviaria: Alemania, Noruega, Austria, Suecia, Suiza 16 2/3 Hz, USA 20 Hz.

Valor medio electrolítico (galvánico) de la corriente alterna sinusoidal. Es la media aritmética, es decir:

$$I_{galv} = 2\hat{\imath}/\pi = 0{,}64\ \hat{\imath}$$
$$U_{galv} = 2\hat{u}/\pi = 0{,}64\ \hat{u}$$

Representación de la corriente alterna

T Duración de una oscilación completa (período) en s, f Frecuencia en Hz ($f = 1/T$), $\hat{\imath}$ Valor de cresta (amplitud) de la intensidad, $\hat{u}$ Valor de cresta (amplitud de la tensión, ω Frecuencia circular en 1/s ($\omega = 2\pi f$), φ Ángulo de desfase (desplazamiento de fase significa que la intensidad y la tensión alcanzan en tiempos diferentes unos valores máximos (o de cresta), o su paso por el valor cero. La diferencia de tiempos corresponde al ángulo de desfase



y corresponde por sus efectos electrolíticos a una corriente continua de esa magnitud.

Valores efectivos de la corriente alterna sinusoidal:

$$I (= I_{eff}) = \hat{\imath}/\sqrt{2} = 0{,}71\hat{\imath}$$
$$U (= U_{eff}) = \hat{u}/\sqrt{2} = 0{,}71\hat{u}$$

Indican con qué valores de corriente continua se genera la misma cantidad de calor.

En el circuito de corriente alterna se distingue entre tres potencias:

Potencia efectiva: $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$
Potencia reactiva: $P_q = U \cdot I \cdot \operatorname{sen}\varphi$
Potencia aparente: $P_s = U \cdot I$

El factor de potencia $\cos\varphi$ indica qué parte de la potencia aparente se puede evaluar como efectiva. El resto, la potencia reactiva, oscila de forma inútil entre la fuente generadora y el consumidor en uno y otro sentido, pero, no obstante, carga las líneas.

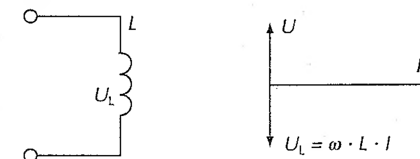
Para no tener que dimensionar innecesariamente las líneas, el ángulo de desfase φ se mantiene tan pequeño como sea posible por medio de correctores de fase (por ejemplo, condensadores).

Circuitos de corriente alterna

Circuito de corriente alterna con bobinas

Una bobina de inductancia L (pág. 83) actúa como una resistencia de magnitud $R_L = \omega \cdot L$ (resistencia inductiva). No consume energía; se llama también resistencia reactiva. La contratensión inducida U_L (ley de la inducción, pág. 82) va retrasada en 90° respecto a la intensidad y ésta otros 90° respecto a la tensión aplicada.

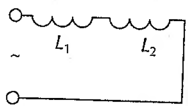
$$U = U_L = \omega \cdot L \cdot I$$



Para la inductancia conjunta de bobinas conectadas simultáneamente se tiene:

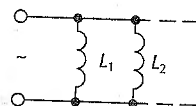
Bobinas en serie:

$L_{tot} = L_1 + L_2$



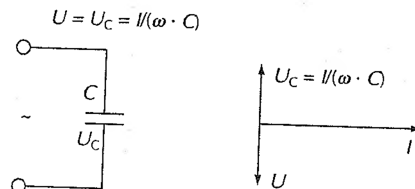
Bobinas en paralelo:

$\frac{1}{L_{tot}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots$



Circuito de corriente alterna con condensador

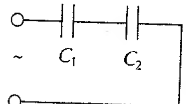
Un condensador de capacidad C actúa como una resistencia de magnitud $R_C = 1/(\omega \cdot C)$ (resistencia capacitiva); tampoco consume ninguna potencia (potencia reactiva). La contratensión U_C del condensador adelanta a la intensidad en 90° y ésta a la tensión aplicada U también en 90°:



Para la capacidad conjunta de condensadores conectados simultáneamente se tiene

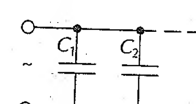
Condensadores en serie

$1/C_{tot} = 1/C_1 + 1/C_2 + \ldots$



Condensadores en paralelo

$C_{tot} = C_1 + C_2 + \ldots$



Ley de Ohm para la corriente alterna

En el circuito de corriente alterna con resistencia óhmica (R), bobina (inductancia L) y condensador (capacidad C) se cumplen para las magnitudes eléctricas indicadoras de resistencia, tensión e intensidad, las mismas leyes que en el circuito de corriente continua.

No obstante, para el cálculo de la resistencia total, la tensión y la intensidad del circuito hay que tener en cuenta la posición de la fase, es decir, los valores deben sumarse vectorialmente. A menudo se realiza esto con ayuda de diagramas vectoriales.

Conexión en serie

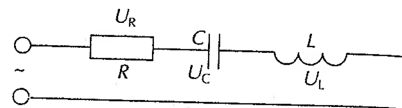
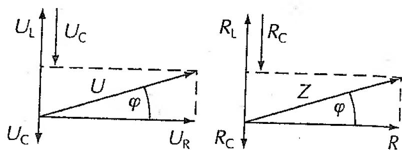


Diagrama vectorial para determinar U, Z, φ



La ley de Ohm dice: $U = Z \cdot I$

Z se llama impedancia o resistencia aparente y es el vector suma de las distintas resistencias

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

donde R resistencia óhmica y X reactancia o resistencia reactiva.

$$X = \omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C)$$

donde $\omega \cdot L$ es la parte de resistencia inductiva y $1/(\omega \cdot C)$ la parte capacitativa.

Para el ángulo de desfase φ entre la intensidad y la tensión se cumple

$$\tan \varphi = [\omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C)]/R$$

En el caso de que haya resonancia, pasa el máximo de intensidad posible ($I = U/R$) cuando resulta

$$\omega^2 \cdot L \cdot C = 1 \text{ (es decir, cuando } X = 0)$$

Conexión en paralelo

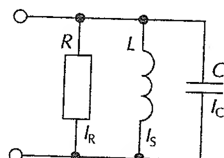
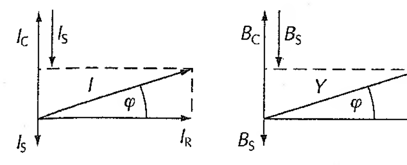


Diagrama vectorial para determinar I, Y, φ



Para la intensidad se cumple (Ley de Ohm):

$$I = U \cdot Y$$

siendo Y la conductividad aparente compleja

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

con G (= $1/R$) conductividad efectiva y B [= $\omega \cdot C - 1/(\omega \cdot L)$] valor de la reactiva.

Para el desfase entre intensidad y tensión se tiene:

$$\tan \varphi = R \cdot [\omega \cdot C - 1/(\omega \cdot L)].$$

La condición de resonancia (intensidad mínima en el conductor principal), al igual que para la conexión en serie, es:

$$\omega^2 \cdot L \cdot C = 1 \text{ (es decir, } B = 0)$$

Corriente alterna trifásica

Se denomina corriente trifásica la corriente de tres fases alternas a 120°. Para obtenerla se utilizan generadores trifásicos con tres bobinados independientes entre sí alternados a dos tercios de paso polar (120°).

Para disminuir de seis a tres o cuatro el número de conductores en el transporte de tensión, se enlazan las tensiones parciales, y para ello son comunes las conexiones en triángulo y en estrella.

Conexión en estrella

$I = I_p$

$U = \sqrt{3} \cdot U_p$

Conexión en triángulo

$I = \sqrt{3} \cdot I_p$

$U = U_p$

I corriente en el conductor, I_p corriente en la fase, U tensión en el conductor, U_p tensión en la fase.

La potencia transportada es independiente de la conexión.

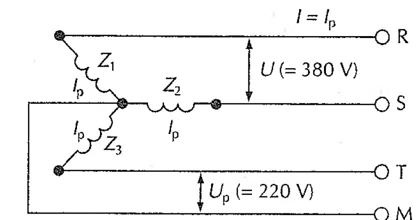
Potencia aparente:

$$P_s = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 3\,U_p \cdot I_p$$

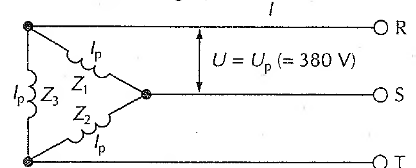
Potencia efectiva:

$$P = P_s \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Conexión en estrella



Conexión en triángulo



Campo magnético

Los campos magnéticos se producen por cargas eléctricas en movimiento, conductores bajo corriente, cuerpos magnetizados o campos eléctricos variables.

Se comprueban por su efecto sobre las cargas eléctricas en movimiento (Fuerza de Lorentz) o los dipolos magnéticos (los polos del mismo signo se repelen, y los de signo contrario se atraen).

Para caracterizar un campo magnético se utiliza el vector de la densidad de flujo magnético B (inducción). La determinación puede hacerse midiendo la fuerza o la tensión, porque un campo magnético variable induce una tensión en una espira conductora que se encuentre en él (ley de la inducción, pág. 82), cuyo valor es

$$U = \Delta (B \cdot q)/t$$

siendo $\Delta(B \cdot q)$ la variación del producto de la inducción magnética en (T) por el área de la espira conductora (en m^2), y t el

tiempo (en s). La inducción B depende de otras magnitudes del campo como son el flujo y la intensidad.

Flujo magnético Φ

$$\Phi = B \cdot q$$

q sección en m².

Intensidad del campo magnético H

En el vacío:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

$\mu_0 = 1{,}275 \cdot 10^{-6}$ H/m, constante del campo magnético.

Campo magnético y materia

En la materia, la inducción B está compuesta en fórmula de dos factores: Uno función del campo establecido ($\mu_0 \cdot H$) y el otro de la materia (J) (véase también la relación entre densidad de flujo eléctrico e intensidad de campo eléctrico)

$$B = \mu_0 \cdot H + J$$

siendo J la polarización magnética que describe la contribución de la materia a la densidad de flujo. Físicamente significa el momento magnético dipolar por unidad de volumen y, por lo general, es función de la intensidad del campo H.

Para muchos materiales $J \ll \mu_0 \cdot H$ y proporcional a H, y se cumple entonces:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

donde μ_r, coeficiente de permeabilidad, vale 1 en el vacío.

Según un el valor del coeficiente de permeabilidad los materiales se dividen en 3 grupos:

Substancias diamagnéticas $\mu_r < 1$

(Por ejemplo, Ag, Au, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, agua, materias orgánicas, gases).

μ_r es independiente de la intensidad del campo magnético y menor que 1, los valores están en el intervalo

$$(1 - 10^{-11}) > \mu_r > (1 - 10^{-5})$$

Substancias paramagnéticas $\mu_r > 1$

(Por ejemplo, O_2, Al, Pt, Ti).

μ_r es independiente de la intensidad de campo magnético y mayor que 1, los valores están en el intervalo

$$(1 + 4 \cdot 10^{-4}) > \mu_r > (1 + 10^{-8})$$

Substancias ferromagnéticas $\mu_r >> 1$

(Por ejemplo, Fe, Co, Ni, ferrita).

En estas substancias la polarización alcanza valores muy elevados y no varía linealmente con la intensidad del campo magnético H; además depende de sus antecedentes (histéresis). Si a pesar de ello, tal como es normal en electrotecnia se toma $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$, entonces μ_r es función de H e indica histéresis; los valores de μ_r están en el intervalo

$$5 \cdot 10^5 > \mu_r > 10^2$$

El ciclo de histéresis, que indica la dependencia entre B y H o entre J y H, transcurre así:

El punto de partida es el estado sin magnetismo y sin campo magnético ($B = J = H = 0$). Al instaurar un campo, el material se magnetiza a lo largo de la curva (1). Cuando a partir de una intensidad de campo determinada todos los dipolos magnéticos están ya ordenados, J alcanza el valor de la polarización de saturación (dependiente del material) y ya no se puede aumentar más. Al disminuir H recorre la parte 2 de la curva que ya no pasa por el punto cero, sino que corta al eje B o al J en el punto de remanencia B_r o J_r (se cumple que $B_r = J_r$). Sólo después de aplicarle un campo contrario de intensidad B_{Hc} o J_{Hc}, vuelve a cero la densidad de flujo o la polarización; la intensidad de ese campo se llama intensidad de campo característica. Si se eleva aún más la intensidad del campo, se alcanza la polarización de saturación en sentido contrario. Si se vuelve a reducir la intensidad de campo y se invierte, la curva recorre la parte 3, que es simétrica de la curva 2.

Materiales ferromagnéticos[1]

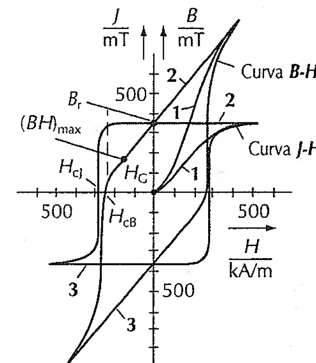
Materiales de imantación permanente

Los materiales de imantación permanente tienen elevadas fuerzas coercitivas cuyos valores están en el intervalo

$$H_{cJ} > 1 \frac{\text{kA}}{\text{m}}$$

Por ello pueden soportar elevados campos H desmagnetizantes, sin perder su polarización magnética. El estado magnético y el campo de trabajo de un imán permanente están en el 2° cuadrante de la curva de histéresis, en la denominada curva de desmagnetización. En la práctica el punto de trabajo de un imán permanente nunca está en el punto de remanencia, porque por su propia desmagnetización interior, siempre existe un campo desmagnetizante que desplaza el punto de trabajo hacia la izquierda.

***Curva de histéresis** (p. ej., ferrita dura)*



Las características más importantes de la curva de histéresis son:

- Polarización de saturación J_s
- Remanencia B_r (inducción remanente para $H = 0$)
- Intensidad de campo coersitivo H_{cB} (intensidad del campo desmagnetizante para $B = 0$) o bien
- Intensidad de campo coercitivo H_{cJ} (intensidad del campo desmagnetizante para $J = 0$; sólo tiene importancia para los imanes permanentes)
- Intensidad de campo límite H_G (hasta esta intensidad de campo, un imán permanente es estable)
- μ_{max} (pendiente máxima de la curva nueva, sólo es importante para los hierros dulces)
- Pérdida por histéresis (pérdida de energía en el material en un ciclo de magnetización y desmagnetización; corresponde a la superficie de la curva de histéresis B-H; sólo es importante para los hierros dulces)

Junto a las magnitudes características ya conocidas también desempeñan un papel importante el producto $(B \cdot H)_{max}$, en la caracterización de las propiedades de un imán permanente. Es el punto de la curva de desmagnetización en el cual $(B \cdot H)$ alcanza su valor máximo; es una medida de la energía máxima alcanzable de entrehierros.

Los imanes permanentes que tienen importancia actualmente son las aleaciones AlNiCo, ferritas, FeNdB (REfe)y SeCo. Las curvas de desmagnetización indican las características típicas de cada clase. (Magnitudes características de los materiales para imanes permanentes, en pág. 206).

Materiales magnéticamente blandos

Son los que tienen fuerzas coercitivas bajas ($H_C < 1000$ A/m), es decir, un ciclo de histéresis estrecho. La densidad de flujo alcanza ya valores elevados con campos de poca intensidad (valor de μ_r alto), de forma que para las aplicaciones usuales resulta $J >> \mu_0 \cdot H$, es decir, en la práctica no hace falta que haya diferencia entre la curva $B(H)$ y la curva $J(H)$.

A causa de la elevada inducción a intensidad de campo baja, se utilizan los materiales magnéticamente blandos como conductores de flujo magnético.

Al introducirlos en campos magnéticos alternantes, el ciclo de histéresis del material, debería ser lo más estrecho posible, es decir, baja la intensidad del campo coercitivo para que así las pérdidas en la desmagnetización se mantuvieran pequeñas.

La curva de histéresis de estos materiales depende mucho del tratamiento previo. Por mecanizado (por ejemplo, arranque de viruta), se eleva la intensidad del campo coercitivo, es decir, el ciclo de histéresis se hace más ancho. Con un recocido específico del material a elevada temperatura (recocido final magnético), se pueden anular estas influencias. Se dan a continuación las curvas de magnetización de los principales materiales magnéticamente blandos, es decir, sus dependencias de B-H.

---

[1] De aquí en adelante se dividirán los materiales ferromagnéticos en tres grupos:
- Materiales magnéticamente blandos, $H_c \leq 1$ kA/m
- Materiales magnéticamente semiduros, 1 kA/m < H_c
- Materiales magnéticamente duros, $H_c > 30$ kA/m

Pérdidas por inversión de la magnetización

En las tablas que siguen P 1 y P 1,5 dan las pérdidas por inversión de la magnetización para una excitación de 1 o 1,5 Tesla con 50 Hz a 20 °C. Están compuestas por las pérdidas de histéresis y las de corrientes de Foucault. Las pérdidas por corrientes de Foucault son las provocadas por las tensiones inducidas en las partes del material magnético al magnetizarlo con un campo alternativo por las variaciones de flujo (ley de la inducción). Con las medidas que siguen, que disminuyen la conductibilidad eléctrica, se pueden mantener pequeñas las pérdidas por corrientes de Foucault:

- Hacer el núcleo de chapas
- Emplear materiales aleados (por ejemplo, hierro al silicio)
- Subdividir la zona de frecuencias más altas en partículas de polvo aisladas (núcleo de polvo)
- Emplear materiales cerámicos (ferritas)

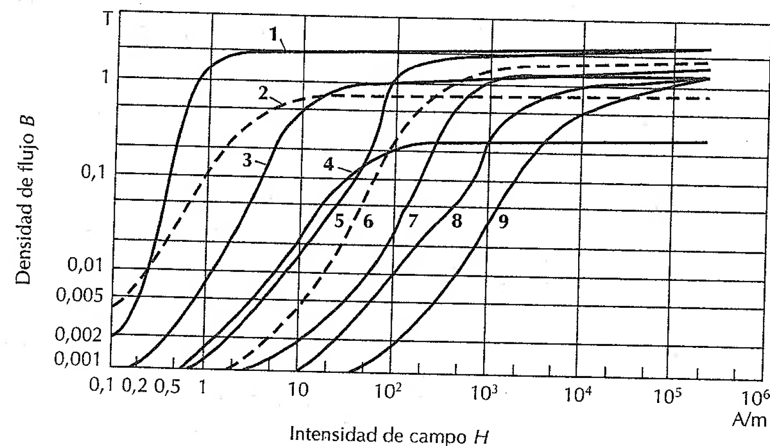
Circuito magnético

Junto a las ecuaciones para el material, para la interpretación de tales circuitos son importantes las ecuaciones siguientes:

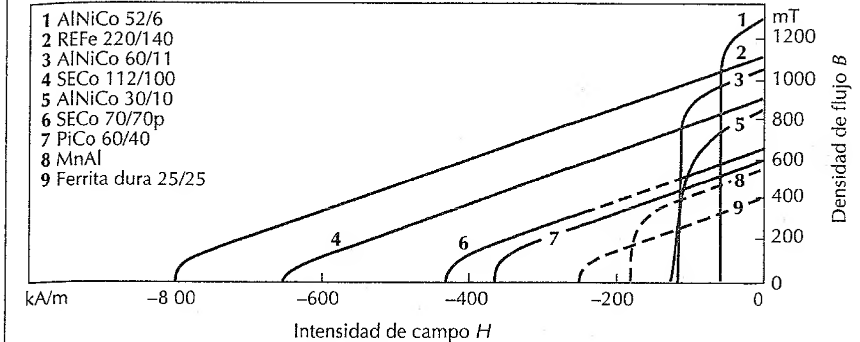
1. Ley de la intensidad total circulante (ecuación de la tensión magnética) En un

Tipo de chapa	Espesor nominal	Pérdida por inv. magn. W/kg		B (para H = 10 kA/m)
	mm	P1	P 1,5	T
M 270 – 35 A	0,35	1,1	2,7	1,70
M 330 – 35 A	0,35	1,3	3,3	1,70
M 400 – 50 A	0,5	1,7	4,0	1,71
M 530 - 50 A	0,5	2,3	5,3	1,74
M 800 – 50 A	0,5	3,6	8,1	1,77

Curvas de magnetización de materiales magnéticamente blandos



Curvas de desmagnetización de diferentes materiales para imanes permanentes



ciclo cerrado del circuito magnético se cumple

$$\sum_i H_i \cdot l_i = V_1 + V_2 + \ldots + V_i = I \cdot w \text{ o bien } 0$$

según haya una fuente de corriente en el circuito o no la haya.

$I \cdot w = \Theta$ Intensidad total de corriente circulante (núm. de amperevueltas).

$H_i \cdot l_i = V_i$ Tensión magnética.

($H_i \cdot l_i$ hay que calcularlo para los tramos en los cuales H_i es constante)

2° La ley de la continuidad (ecuación del flujo magnético)

En las distintas zonas del circuito existe el mismo flujo magnético

$\Phi\ (= B \cdot A)$:

Φ = constante o bien $\Phi_1 = \Phi_2 = \ldots = \Phi_i$

Decisivo para la calidad de un circuito es el flujo disponible en el lugar de trabajo del entrehierro. Este flujo se denomina flujo útil; su relación con el flujo total (flujo del permanente o electroimán) se llama factor de dispersión σ (los valores prácticos de σ están entre 0,2 y 0,9). El flujo dispersado, diferencia entre el flujo total y el útil, se cierra por el exterior del entrehierro de trabajo y no contribuye al rendimiento de trabajo del circuito magnético.

[1] F es la fuerza en N, I_1, I_2 e I son corrientes en A, l la longitud en m y B la inducción en T.

Campo magnético y corriente eléctrica

Las cargas en movimiento generan un campo magnético, es decir, un conductor por el que pasa corriente queda envuelto por un campo magnético. El sentido de la corriente (⊗, corriente hacia atrás; ⊙, corriente hacia adelante) y el de la intensidad del campo magnético son las de rosca y avance de un tornillo a derechas. En la tabla de la página siguiente puede verse el campo magnético H para diferentes disposiciones de los conductores.

Dos conductores paralelos, por los que la corriente circula en el mismo sentido, se atraen, y, si circula en sentidos opuestos, se repelen. Para el cálculo de la fuerza entre dos conductores separados una distancia a y de longitud l por los que pasan unas corrientes de intensidad I_1 y I_2 respectivamente, se tiene

$$F = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2\pi \cdot a} \text{ [1]}$$

en el aire, aproximadamente

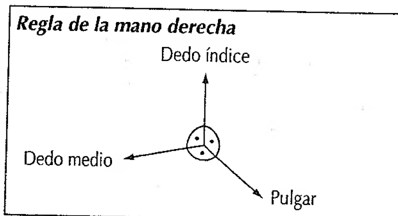
$F \approx 0{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l/a$ [1]

Un conductor de longitud l, por el que circula una corriente de intensidad I, colocado en un campo magnético B, está sometido a una fuerza F que depende del ángulo α que forman el conductor y las líneas del campo. Su fórmula es

$F = B \cdot I \cdot l \cdot \text{sen}\ \alpha$ [1]

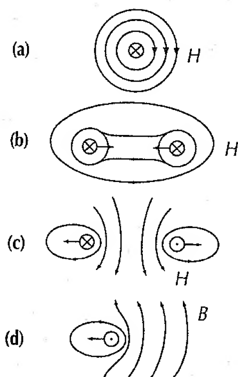
El sentido de la fuerza se determina mediante la regla de la mano derecha (el pulgar en la dirección de la corriente, el índice en dirección del campo magnético, y el dedo medio indica entonces la dirección de la fuerza).

Regla de la mano derecha

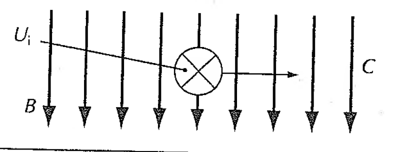


Conductores de corriente y línea de campo correspondiente (H)

(a) *Un solo conductor recorrido por la corriente con su campo magnético*
(b) *Los conductores paralelos se atraen si conducen en el mismo sentido*
(c) *Los conductores paralelos se repelen, si conducen en sentidos opuestos*
(d) *Un campo magnético (B) ejerce una fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente. El sentido de la fuerza se determina con la regla de la mano derecha*



Inducción
B Campo magnético, C Dirección del conductor en movimiento, U_i Tensión inducida



Ley de la inducción
Si varía el flujo magnético Φ que atraviesa una espira conductora, ya sea por movimiento de la espira o por variación de la intensidad del campo, se induce una tensión U_i en la espira conductora.

En un conductor en movimiento en la dirección C, dentro de un campo magnético, se produce una tensión dirigida hacia atrás U_i:

$$U_i = B \cdot l \cdot v$$

U_i en V, B en T, l longitud del conductor en m y v velocidad en m/s.

En las máquinas de corriente continua

$$U_i = p \cdot n \cdot z \cdot \Phi / (60\ a)$$

U_i en V, Φ del bobinado excitador (bobinado de campo) en Wb, p número de pares de polos, n número de revoluciones en min^{-1}, z número de hilos en la superficie del inducido, a mitad del número de derivaciones paralelas del inducido.

En las máquinas de corriente alterna:

$$U_i = 2{,}22\ f \cdot z \cdot \Phi$$

U_i en V, Φ flujo magnético provocado por el bobinado en Wb, f frecuencia de la corriente alterna en Hz = $p \cdot n / 60$, siendo p el número de pares de polos y n el de revoluciones en min^{-1}, y z número de tubos en la superficie del inducido.

En el transformador:

$$U_1 = 4{,}44\ f \cdot w \cdot \Phi$$

U_1 en V, Φ flujo magnético en Wb, f frecuencia en Hz, w número de vueltas de la bobina que abarcan el flujo Φ.
La tensión entre bornes U es menor (en aprox. 5 %) que U_i, a causa de la pérdida de tensión óhmica en el bobinado (generador), o mayor que U_i (en el caso del motor). En tensión alterna U_i es el valor efectivo.

Autoinducción
El campo magnético de un conductor por el que circula una corriente o el de una bobina en las mismas condiciones, varía al variar la corriente en el conductor. Con ello se induce en el propio conductor una tensión que es proporcional a la variación de la intensidad, y que se opone al cambio de intensidad que lo produce:

$$U_s = -L\frac{dI}{dt}$$

Intensidad de campo H de algunas disposiciones de conductores

Conductor doblado en forma circular	En el centro del círculo $H = I/(2a)$	H Intensidad de campo en A/m I Intensidad de corriente en A a Radio del circ. del conductor en mm
Conductor recto, largo	Fuera del conductor $H = I/(2\pi \cdot a)$ Dentro del conductor $H = I \cdot a/(2\pi \cdot r^2)$	a Distancia del eje del conductor en m r Radio del conductor en m
Bobina cilíndrica (solenoide)	$H = I \cdot w/l$	w Número de espiras de la bobina l Longitud de la bobina en m

Inductividad L de algunas disposiciones de conductores

Bobina cilíndrica	$L = \frac{1{,}257\ \mu_r}{10^6} \cdot \frac{w^2 \cdot q}{l}$	L Inductividad en H μ_r Coeficiente de permeabilidad w Número de espiras q Sección de la bobina en m^2 l Longitud de la bobina en m
Línea doble (en el aire, $\mu_r = 1$)	$L = \frac{4l}{10^7}\ln(a/r)$	l Longitud de conducción en m a Distancia entre conductores r Radio de los conductores en m
Línea a tierra (en el aire, $\mu_r = 1$)	$L = \frac{2l}{10^7}\ln(2a/r)$	l Longitud de la línea en m a Distancia entre el conductor y la tierra en m r Radio del conductor en m

La inductividad L depende del coeficiente de permeabilidad μ_r, que para la mayoría de los materiales es prácticamente igual a 1 y constante, con excepción de los materiales ferromagnéticos (pág. 78). Para las bobinas con núcleo de hierro, L depende mucho de las condiciones de trabajo.

Energía del campo magnético

$$W = L \cdot I^2/2$$

Efectos eléctricos en los conductores metálicos

Tensión de contacto entre conductores
Análogamente a la electricidad por rozamiento o contacto de aislantes (por ejemplo, vidrio-goma dura), en los conductores se originan tensiones por contacto. Si se unen (a igual temperatura) dos metales diferentes entre sí, y en otro punto se les separa, aparece así una tensión de contacto.

Tensiones de contacto

Par de materiales	Tensión de contacto
Zn/Pb	0,39V
Pb/Sn	0,06 V
Sn/Fe	0,30 V
Fe/Cu	0,14V
Cu/Ag	0,08 V
Ag/Pt	0,12V
Pt/c	0,13V
Zn/Pb/SnlFe	0,75 V
Zn/Fe	0,75V
Zn/Pb/Sn/Fe/Cu/Ag	0,97 V
Zn/Ag	0,97 V
Sn/Cu	0,44V
Fe/Ag	0,30V
AglAu	-0,07V
Au/Cu	-0,09 V

Las causas son los diferentes trabajos de salida de los electrones. La magnitud de la tensión depende de la posición que ocupan los elementos en la serie de tensiones voltaicas. Si se unen varios conductores, la tensión de contacto resultante es la suma de las distintas tensiones particulares.

Termoelectricidad

A causa de ese trabajo diferente de salida de los electrones, en el punto de contacto de dos conductores se forma una diferencia de potencial, la tensión de Galvani. En un circuito conductor cerrado (todo él con la misma temperatura), la suma de las tensiones de Galvani es nula. Sólo es posible su medición de forma indirecta, por su dependencia de la temperatura (efecto termoeléctrico, efecto Seebeck). Los valores de la tensión termoeléctrica muestran una gran dependencia de las impurezas y del tratamiento previo de los materiales. Para pequeñas diferencias de temperatura es, aproximadamente,

$$U_{th} = \Delta T \cdot a + \Delta T^2 \cdot b/2 + \Delta T^3 \cdot c/3$$

donde

U_{th} tensión termoeléctrica

$\Delta T = T_1 - T_2$ diferencia de temper.

a, b, c constante del material

En la serie de tensiones termoeléctricas, se dan las fuerzas termoeléctricas diferenciales respecto a un metal de referencia (casi siempre platino, cobre o plomo). En el punto de la soldadura caliente, la corriente fluye desde el conductor de menor fuerza termoeléctrica diferencial hacia el de mayor fuerza. La fuerza termoeléctrica η de cualquier par (termoelemento) es igual a la diferencia de las fuerzas termoeléctricas diferenciales.

El inverso del efecto Seebeck, es el efecto Peltier, por el cual, por medio de energía eléctrica, se produce una diferencia de temperatura (bomba de calor). Si se envía corriente a través de una serie conductora A-B-A y se enfría un punto de soldadura, el otro se calienta más de lo que corresponde por efecto Joule. Para la cantidad de calor producida resulta:

$$\Delta Q = \pi \cdot I \cdot \Delta t$$

π coeficiente de Peltier
I intensidad de la corriente
Δt intervalo de tiempo

Entre el coeficiente de Peltier π y la fuerza termoeléctrica η se cumple que:

$$\pi = \eta \cdot T$$

siendo T la temperatura absoluta.

La producción de calor por la corriente también es posible en conductores homogéneos, si se mantiene en éstos una caída de temperatura $\Delta T/l$ (Efecto Thomson). Mientras que la potencia Joule es proporcional a I^2, la obtenida por efecto Thomson es:

$$P = -\sigma \cdot I \cdot \Delta T$$

σ coeficiente de Thomson,
I intensidad de la corriente,
ΔT diferencia de temperatura.

El inverso del efecto Thomson es el efecto Benedicks, por el cual, a causa de una distribución asimétrica de la temperatura se genera una tensión eléctrica (en particular en los lugares donde haya fuertes cambios de sección).

Serie de tensiones termoeléctricas
(referidas al platino)

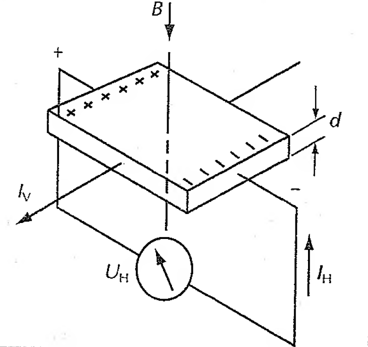
Material	Tensión termoeléctrica 10^{-6} V/°C
Selenio	1003
Teluro	500
Silicio	448
Germanio	303
Antimonio	47 48,6
Cromoníquel	22
Hierro	18,7 18,9
Molibdeno	11,6... 13,1
Cerio	10,3
Cadmio	8,5... 9,2
Acero(V 2 A)	7,7
Cobre	7,2... 7,7
Plata	6,7... 7,9
Wolframio	6,5... 9,0
Iridio	6,5... 6,8
Radio	6,5
Cinc	6,0... 7,9
Manganina	5,7... 8,2
Oro	5,6... 8,0
Estaño	4,1... 4,6
Plomo	4,0... 4,4
Magnesio	4,0... 4,3
Aluminio	3,7... 4,1
Platino	±0
Mercurio	-0,1
Sodio	-2,1
Potasio	-9,4
Níquel	-19,4... -12,0
Cobalto	-19,9... -15,2
Constantán	-34,7... -30,4
Bismuto (perpend.eje)	-52
Bismuto (paral.eje)	-77

Termoelementos (termopares) comunes[1]

Par de materiales	Temperatura
Cobre-Constantán	hasta 600 °C
Hierro-Constantán	hasta 900 °C
Cromoníquel-Constantán	hasta 900 °C
Cromoníquel-Níquel	hasta 1200 °C
Platino-Rodio-Platino	hasta 1600 °C
Platino-Rodio-Platino-Rodio	hasta 1800 °C
Iridio-Iridio-Rodio	hasta 2300 °C
Wolframio-Wolframio-Molibdeno[2]	hasta 2600 °C
Wolframio-Tántalo[2]	hasta 3000 °C

[1] El termoelemento también es utilizado como termogenerador, aparte de medidor de temperaturas. Grado de rendimiento hasta ahora alcanzado aprox. 10 %. (Utilización en satélites.)
[2] En atmósfera reducida.

Efecto Hall
B Campo magnético, I_H Corriente de Hall, I_V Corriente de alimentación, U_H Tensión de Hall, d Grueso del conductor



Efectos galvánicos y termomagnéticos

Se denominan así los cambios de intensidad de la corriente eléctrica o térmica de un conductor, producidos por un campo magnético. Hay 12 efectos de ese tipo. Los más conocidos son los efectos: Hall, Ettinghausen, Righi-Leduc y Nernst.

De especial importancia técnica es el efecto Hall (pág. 107, sensor de Hall). Si se aplica una tensión a un conductor y perpendicularmente al mismo un campo magnético, se origina una tensión perpendicular al sentido de la corriente y al campo magnético, denominada tensión de Hall U_H:

$$U_H = R \cdot I_V \cdot B/d$$

R constante de Hall, I_V corriente de alimentación, B campo magnético, d grueso del conductor.

Por las constantes de Hall se pueden determinar la densidad del número de partículas y la movilidad de los electrones o su defecto. En las substancias ferromagnéticas la tensión de Hall depende de la magnetización (histéresis).

Descarga de gas

La descarga es el paso de la corriente eléctrica a través de un espacio lleno de gases o vapores, desprendiéndose, en la mayoría de los casos, calor, luz y sonido.

Los portadores de carga libres presentes en el gas se aceleran en el campo entre dos electrodos y producen avalanchas de portadores de carga mediante ionización por choque, provocando así la descarga disruptiva, la cual a su vez depende del tipo de gas, de la presión y de la distancia de los electrodos en tensiones de encendido desde pocos voltios hasta 100 millones de voltios (rayo atmosférico). Si la energía de excitación desprende electrones en el cátodo, surge la descarga independiente, en la cual la bastante más reducida tensión de combustión mantiene la corriente. La descarga de efluvios se forma preferentemente a presiones reducidas de gas.

Sus efectos de luz se fundamentan principalmente en zonas de transporte y de reacción formadas por fuerzas de campo y difusión de iones a densidades reducidas de corrientes. A densidades mayores de corrientes la ionización térmica concentra en el flujo de corriente intensidades de corrientes en el plasma, es decir, la descarga se estrangula.

La emisión térmica de electrones desde el cátodo conduce a la descarga de arco. La intensidad de corriente aumenta hasta donde lo permite el circuito externo de corriente. Con temperaturas hasta 10^4 K se produce una luz intensa en la región de los electrodos y de la columna de plasma ubicada entre ellos y, debido a la convección, en forma de arco. La tensión de combustión cae a pocos voltios. Al bajar por debajo de la tensión de apagado característica en su condición momentánea, se termina la descarga.

Aplicaciones técnicas: recorrido de chispas como elemento interruptor, soldadura al arco, encendido por chispas para la combustión de gases, lámparas de descarga, lámparas de arco de alta presión.

Electrónica

Fundamentos de la técnica de los semiconductores

Conductibilidad eléctrica de cuerpos sólidos

La idoneidad específica de los diferentes materiales para la conducción de la corriente viene determinada por el número y movilidad de sus portadores de carga libres. La conductibilidad eléctrica de los cuerpos sólidos a temperatura ambiente tiene una variabilidad de 24 potencias de diez, que se dividen por ello en tres clases de materiales eléctricos (ejemplos):

Metales conductores	Semiconductores	No conductores Aislantes
Plata Cobre Aluminio	Germanio Silicio Arseniuro de galio	Teflon Cristal de cuarzo Óxido de aluminio

Metales, aislantes, semiconductores

Todos los cuerpos sólidos tienen unos 10^{22} átomos por cm^2 que se mantienen unidos por fuerzas eléctricas.

En los metales, el número de portadores de carga libres es muy elevado (cada átomo tiene un electrón libre), su movilidad es moderada, la conductividad eléctrica es elevada. La conductividad de los buenos conductores es de 10^6 Siemens/cm. En los aislantes el número de portadores de carga libres es prácticamente nulo y por ello la conductibilidad eléctrica es prácticamente inexistente. La conductibilidad de los buenos aislantes es de 10^{-18} Siemens/cm.

La conductibilidad eléctrica del semiconductor está entre la de los metales y la de los aislantes. A diferencia de la conductibilidad de los metales y aislantes, depende mucho de la presión (que influye en la movilidad de los portadores de carga), la exposición a la luz (número de portadores de carga) y de la presencia de substancias extrañas (número y tipo de portadores de carga).

La sensibilidad de los semiconductores a la presión, la temperatura y la luz los hace apropiados como sensores.

La posibilidad de dopar (incorporación controlada de substancias extrañas, con influencia eléctrica), define y regula localmente la conductibilidad de los semiconductores, y es la base de los módulos semiconductores de hoy día. La conductibilidad eléctrica que se puede conseguir con seguridad por dopado del silicio, va desde 10^4 hasta 10^{-2} Siemens/cm.

Conductibilidad eléctrica de los semiconductores

A continuación se hablará del silicio. El silicio en estado sólido forma una red cristalina, en la cual cada átomo tiene 4 átomos vecinos a la misma distancia. Cada átomo tiene 4 electrones exteriores, separados por la misma distancia. La unión con los átomos vecinos se realiza compartiendo dos electrones. En este estado ideal el silicio no tiene ningún portador de carga libre y por eso no es conductor, pero cambia fundamentalmente con adiciones apropiadas y aportación de energía.

Dopado N:
Incorporación de átomos extraños con 5 electrones exteriores (por ejemplo fósforo) lo que da electrones libres (de conducción); puesto que para la unión en la red del silicio sólo se necesitan 4 electrones. Cada átomo de fósforo incorporado suministra pues un electrón libre con carga negativa. El silicio será un conductor N: Silicio-N.

Dopado P:
Incorporación de átomos extraños con 3 electrones exteriores (por ejemplo, boro); produce una carencia de electrones ("agujeros"); puesto que para la unión completa en la red del silicio le falta al átomo de boro un electrón. Esta carencia de unión se llama agujero o vacante de electrones.

Los agujeros (vacantes de electrones) son móviles en el silicio; en un campo eléctrico se desplazan en dirección contraria a la de los electrones. Los agujeros se comportan como portadores libres de carga positiva. Cada átomo de boro incorporado suministra pues una vacante de electrón (agujero), conductora y positiva. El silicio será conductor P: Silicio-P.

Autoconducción:
Mediante calor o radiación luminosa se producen portadores de carga libres y móviles, incluso en el silicio sin dopar: pares de electrón-agujero llevan a la autoconducción del semiconductor. En general es pequeña comparada con la conductibilidad que se obtiene por dopado. Al elevarse la temperatura aumenta el número de pares electrón-agujero de forma exponencial y acaban desapareciendo las diferencias entre los campos P y N conseguidos con el dopado. Por ello se dan límites para la temperatura máxima de trabajo de los elementos semiconductores:

Germanio	90 a 100 °C
Silicio	150 a 200 °C
Arseniuro de galio	300 a 350 °C

En los semiconductores N y P siempre existe un pequeño número de portadores de carga de polaridad contraria. Estos portadores de carga minoritarios son importantes para la forma de trabajo de casi todos los elementos semiconductores.

Unión PN en el semiconductor

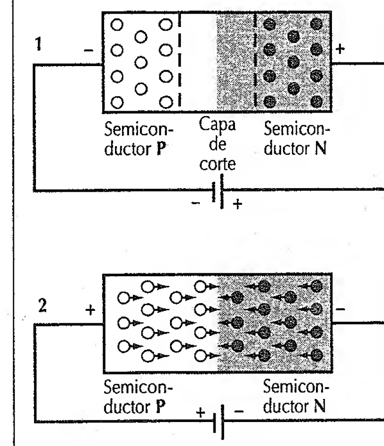
La zona limítrofe entre un campo conductor P y un campo conductor N en un mismo cristal semiconductor se llama unión PN, sus propiedades son básicas para la mayoría de los elementos semiconductores.

Unión PN sin tensión exterior
En la zona P hay muchísimos agujeros (O; en la zona N extremadamente pocos. En la zona N hay muchísimos electrones (•); en la zona P extremadamente pocos. Siguiendo el gradiente de concentración los portadores de carga móviles se difunden en el campo contrario (corrientes de difusión).

Por la pérdida de agujeros se carga la zona P negativamente; por la pérdida de electrones se carga la zona N positivamente. Se forma así entre las zonas P y N una tensión (tensión de difusión), que se opone a la migración de los portadores de carga. La igualación de agujeros y electrones produce al final un estado de reposo.

Resultado: En la unión PN se produce una zona pobre en portadores de carga móviles, mala conductora de la electricidad, la denominada de carga espacial o capa barrera. En ella impera siempre un fuerte campo eléctrico.

Unión PN con tensión exterior
1 Caso de corte, 2 Caso de paso



Unión PN con tensión exterior
Caso de corte:
Polo negativo en la zona P y polo positivo en la zona N que ensanchan la capa barrera a consecuencia de lo cual se corta el paso de corriente excepto un pequeño resto (corriente de corte), que depende de los portadores de carga minoritarios.

Caso de conducción:
El polo positivo en la zona P y el polo negativo en la zona N deshacen la capa barrera. Los portadores de carga inundan la unión PN y fluye una corriente grande en el sentido de paso.

Tensión de irrupción:
Es la tensión en el sentido de corte, a partir de la cual una pequeña elevación de tensión produce una fuerte elevación de la corriente de corte.

Causas: Desprendimiento de electrones unidos de la red cristalina en la capa barrera a causa de una elevada intensidad de campo (disrupción de Zener) o a consecuencia de los choques con electrones acelerados que hacen saltar otros electrones de sus enlaces, lo que produce una elevación en avalancha del número de portadores de carga (irrupción en avalancha).

Componentes semiconductores discretos

Las cualidades de la unión PN y la combinación de varias uniones PN en la plaquita de cristal semiconductor (chip) son la base de un número creciente de componentes semiconductores que son pequeños, robustos, fiables y de bajo coste.

Una unión PN forma diodos; dos uniones PN, transistores; y tres o más uniones PN, tiristores. La reunión de un gran número de dichos elementos en un solo circuito integrado semiconductor, posible mediante la técnica planar, lleva a la familia de extraordinaria importancia de los circuitos integrados semiconductores que son, simultáneamente, componente y circuito.

Normalmente los chips semiconductores, que miden pocos milímetros cuadrados, se montan en bastidores (de metal, cerámica, plástico) normalizados.

Diodos

Componentes semiconductores con una unión PN. El comportamiento específico viene determinado por el proceso correspondiente de concentración del dopado en el cristal. Los diodos con una corriente de paso mayor que 1 A se llaman diodos de potencia.

Diodo rectificador

Actúa como válvula para la corriente, y por ello es el elemento apropiado para rectificar la corriente alterna. La corriente en el sentido de corte (corriente de corte) puede ser aproximadamente 10^7 veces más pequeña que la corriente de paso. Aumenta fuertemente al elevarse la temperatura.

Rectificador para tensiones de corte elevadas

Una tensión elevada exige que por lo menos una zona tenga poca conductibilidad (elevada resistencia en el sentido de paso y con ello un calentamiento excesivo). Incorporando una zona (I) poco dopada entre las zonas P y N muy dopadas se obtiene un rectificador PIN, que tiene una elevada tensión de corte pero poca resistencia al paso (modulación de la conductibilidad).

Diodo conmutador

Preferentemente para la conmutación rápida de una impedancia alta a una baja y viceversa. El tiempo de conmutación se disminuye con difusión adicional de oro (favorece la recombinación de electrones y vacantes).

Diodo Z

Diodo semiconductor en el cual, en el caso de tensiones crecientes en sentido contrario, a partir de una determinada tensión tiene lugar una fuerte elevación de la corriente a consecuencia de la aparición de la disrupción de Zener y/o de avalancha. Los diodos Z se construyen para servicio continuo en la zona de esta disrupción.

Diodos de capacidad

La capa barrera en la unión PN hace de condensador. El dieléctrico es el material semiconductor desprovisto de portadores de carga. La elevación de la tensión aplicada amplía la capa de corte y disminuye la capacidad. La disminución de la tensión aumenta la capacidad.

Diodo Schottky

Diodo semiconductor, con una unión metal-semiconductor. Puesto que los electrones pasan más fácilmente del silicio N a la capa metálica que al revés, se origina en el semiconductor una capa periférica pobre en electrones, la capa barrera de Schottky. El transporte de cargas se realiza exclusivamente por medio de electrones y por ello la conmutación es extraordinariamente rápida, puesto que no tiene lugar ningún efecto acumulador de minoritarios.

Fotodiodo

Diodo semiconductor, en el cual se utiliza el fotoefecto de la capa barrera. En la unión PN está la tensión de corte. La luz incidente libera electrones del enlace de la red cristalina. Se producen con ello electrones libres y vacantes adicionales que elevan la corriente de corte (fotocorriente) proporcionalmente a la intensidad de la luz.

Fotoelemento

(véase "célula solar").

Diodo luminiscente

(véase "Óptica técnica", pág. 141)

Transistores

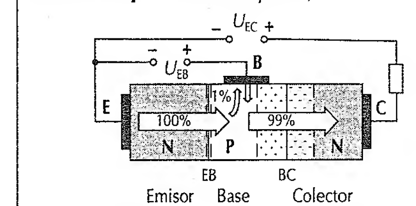
Dos uniones PN estrechamente vecinas llevan al efecto de transistor y a componentes que amplifican señales eléctricas o que actúan como interruptores.

Transistores bipolares

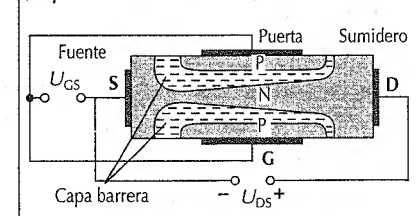
Los transistores bipolares se componen de tres zonas de diferente conductibilidad; PNP o NPN. Las zonas (y sus conexiones) se llaman emisor E, base B y colector C.

Según su campo de utilización se distingue entre transistores de pequeñas señales (hasta 1 watt de potencia de pérdida), transistores de potencia, transistores conmutadores, transistores de baja frecuencia, transistores de alta frecuencia, transistores de microondas, fototransistores, etc. Se llaman bipolares porque los portadores de carga participan de ambas polaridades (vacantes y electrones). En el transistor NPN los portadores de cargas positivos (vacantes) de la corriente de la base regular transportan una cantidad aproximadamente 100 veces mayor de portadores de carga negativos (electrones) que los que fluyen del emisor al colector.

Transistor bipolar NPN *(Esquema)*



Transistor de efecto de campo-capa barrera *(Esquema)*



Funcionamiento de un transistor bipolar

(explicado para el transistor NPN).

La unión Emisor-Base (EB) se polariza en la dirección de paso. Con ello se inyectan electrones en la zona de la base.

La unión Base-Colector (BC) se polariza en la dirección de corte. Con ello se forma una capa barrera con un fuerte campo eléctrico. Se presenta un marcado acoplamiento (efecto de transistor), si ambas uniones PN están situadas muy cerca (en el silicio ≈ 10 µm). Entonces se difunden los electrones inyectados en EB a través de la base hacia el colector. Tan pronto como llegan al campo de acción del campo eléctrico de BC, se aceleran apartándose del campo del colector y fluyen como corriente de colector. El gradiente de concentración de la base permanece pues constante, y por ello ocasiona también la continuidad de la migración de más electones del emisor al colector. En los transistores corrientes el 99% y más de todos los electrones enviados por el emisor alcanzan la zona de carga espacial y pasan a la corriente del colector. Los pocos electrones que faltan han ido a parar a las vacantes de electrones existentes por migración de la base dopada P. Si no ocurre nada más, cargan negativamente la base, y por fuerzas de repulsión se impide totalmente el paso posterior de más electrones en un tiempo brevísimo (50 ns). Por medio de una pequeña corriente de portadores de carga positivas en la base, se compensa total o parcialmente en el transistor dicha carga. Pequeñas variaciones en la corriente de la base realizan pues grandes cambios en la corriente emisor-colector. El transistor NPN es un elemento semiconductor bipolar amplificador regulado por la corriente.

Transistores de efecto de campo (FET)

En ellos se regula fundamentalmente la corriente en un canal conductor por medio de un campo eléctrico, que se origina por una tensión instaurada a través de un electrodo de regulación. Al revés que el transistor bipolar, el de efecto de campo trabaja sólo con portadores de carga de un tipo, electrones o vacantes; de ahí que se les llame también transistores unipolares. Se subdividen en:

– transistores de barrera (Unión-FET, JFET)

– transistores de capa aislante - efecto de campo, especialmente transistores MOS - efecto de campo (MOSFET), abreviado: transistores MOS.

Los transistores MOS son muy apropiados para los circuitos altamente integrados. Los FET de potencia para muchas

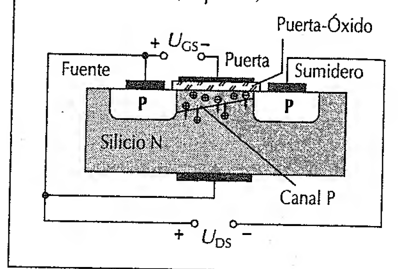
aplicaciones son competidores serios de los bipolares de potencia. Conexiones: Puerta G, Fuente S, Sumidero D.

Funcionamiento de un FET de capa barrera
(explicado para el tipo canal N)
En los extremos de un cristal conductor N se aplica una tensión de corriente continua. Los electrones fluyen de la fuente al sumidero. La anchura del canal viene determinada por dos zonas P difundidas dentro del mismo y por la tensión negativa en las mismas. Si se eleva la tensión negativa de la puerta (Gate), se amplían más las capas barrera hacia el canal y se estrecha la banda de la corriente. La tensión en los electrodos de regulación G regula por ello la corriente entre la fuente S y el sumidero D. Para la función del FET sólo son necesarios portadores de carga de una sola polaridad. La regulación de la corriente se realiza casi sin pérdida de potencia. El transistor FET de capa barrera es pues un elemento unipolar regulado por la tensión.

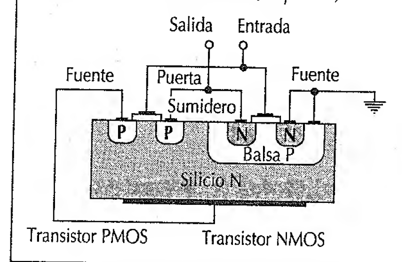
Funcionamiento de un transistor MOS
(para el tipo de enriquecimiento de canal P).
MOS son las iniciales de la serie típica de capas metal-óxido-semiconductor. En ausencia de tensión en el electrodo de puerta (gate) no fluye ninguna corriente entre la fuente y el sumidero; las uniones PN bloquean. Con una tensión negativa en la puerta, en el campo N, bajo este electrodo, los electrones penetran en el cristal, y las vacantes - que por supuesto siempre existen como portadores de carga minoritarios en el silicio N - son atraídas hacia la superficie. Se produce una estrecha capa conductora P debajo de la superficie: un canal P. Entre ambos campos P, fuente y sumidero, puede ahora circular corriente. Consta únicamente de vacantes. Puesto que la tensión de puerta actúa sobre una capa aislante de óxido, no fluye ninguna corriente por el circuito de regulación; la regulación se realiza sin potencia. El transistor MOS es pues un elemento unipolar regulado por tensión.

Transistores PMOS, NMOS, CMOS
Junto al transistor MOS de canal P, abreviado: transistor PMOS, está también invirtiendo el dopado el transistor NMOS.

Transistor PMOS (Esquema)



Par de transistores CMOS (Esquema)



Los transistores NMOS, a causa de la elevada movilidad de los electrones son más rápidos que los transistores PMOS, que por razones físicas eran más fáciles de fabricar y por lo tanto se dispuso de ellos antes.

Cuando los transistores PMOS y NMOS en forma de par, son producidos en el mismo chip de silicio, se habla de técnica MOS complementaria o transistores complementarios MOS, abreviado transistores CMOS. Ventajas particulares de los transistores CMOS: muy baja potencia de pérdida, elevada seguridad contra las interferencias, tensión de suministro no crítica, apropiados para la elaboración y procesamiento de señales analógicas.

Proceso de mezcla BCD
Son cada vez más importantes las estructuras de potencia integradas. Se realizan en un chip de silicio con componentes bipolares y MOS, aprovechando las ventajas de ambas técnicas. Una importante para la electrónica para automóviles, la cual también permite componentes MOS de potencia (DMOS), es la del proceso de mezcla BCD (Bipolar/CMOS/DMOS).

Tiristores
Tres uniones sucesivas PN dan lugar al efecto de tiristor y a componentes que – disparados por señales eléctricas o triggers – hacen de interruptor basculante. La denominación "tiristor" es la que de forma generalizada se utiliza para todo tipo de componente que puede conmutarse de un estado de corte a un estado de paso (o viceversa). Campo de aplicación en electrónica de potencia: regulación de velocidades y de frecuencia, rectificado e inversión de corriente y conmutadores. En casos especiales de terminología se denomina "tiristor" al triodo tiristor que corta el paso hacia atrás.

Diodo de cuatro capas
Según DIN es un diodo tiristor de corte del paso hacia atrás. Elemento con dos conexiones (ánodo A, cátodo K) y propiedades de conmutador. Tiene cuatro capas con dopado alterno. Su comportamiento eléctrico se comprende si se considera la estructura de cuatro capas como dos etapas de transistores T_1 y T_2. Si se eleva la tensión entre A y K, aumentan las corrientes de corte de ambos transistores. Pero la corriente de corte de T_1 es también la corriente de base de T_2, y la corriente de corte de T_2 es la corriente de base de T_1. Para un valor determinado de la tensión de conmutación, la corriente final de corte de uno de los transistores es tan grande, que ya puede regular un poco al otro; en sentido inverso ocurre lo mismo. Ambos transistores se regulan entre sí muy deprisa y el diodo de cuatro capas se hace conductor: efecto tiristor.

Tiristores con conexión de regulación
Según DIN, triodo tiristor (también llamado SCR: Silicon Controlled Rectifier), elementos regulables con propiedades de conmutación. Se componen de cuatro tipos de conducción alternados y al igual que los diodos de cuatro capas, tienen dos estados estables (de alta y baja resistencia óhmica). La conmutación de un estado al otro se regula por medio de una conexión de regulación G (puerta).

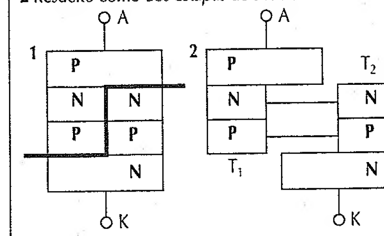
Tiristor GTO
Según DIN, tiristor de desconexión (GTO Gate-Turn-Off), que se excita por medio de un impulso de regulación positivo y se desexcita por medio de un impulso negativo en la misma puerta.

Triac
Según DIN, triodo tiristor de dos direcciones (Triac = Triode Alternating Current Switch), tiristor regulable con tres conexiones. Tiene dos direcciones de conmutación, en las cuales posee prácticamente las mismas propiedades.

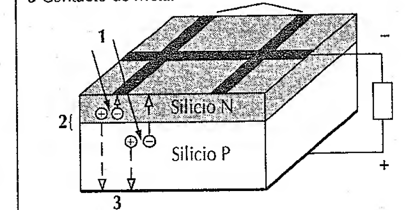
Células solares fotovoltaicas
El efecto fotovoltaico es la transformación directa de energía luminosa en energía eléctrica.

Las células solares están constituidas principalmente por semiconductores, que son los elementos básicos de la técnica fotovoltaica. Por la acción de la luz se originan en el semiconductor por "fotoefecto interior" portadores libres de carga (pares electrón/agujero). Si en el semiconductor se encuentra una unión PN, entonces en su campo eléctrico los portadores de carga son separados y conducidos hacia los contactos de metal en la superficie del semiconductor. Según sea el material del semiconductor se produce una tensión eléctrica continua (fototensión) entre los contactos

Diodos de cuatro capas y efecto de tiristor
1 Estructura de cuatro capas,
2 Resuelto como dos estapas de transistores



Célula solar
1 Acción de la luz,
2 Campo eléctrico,
3 Contacto de metal



de 0,5 a 1,2 V. Al conectarse la resistencia de un consumidor fluye una corriente (fotocorriente) de, p.ej. 2,8 A, por una célula solar de silicio de 100 cm^2 y 0,58 V.

El rendimiento de la transformación de la energía lumínica recibida en energía eléctrica (indicaciones en %) depende de la forma en que las características del semiconductor concuerdan con la distribución espectral de la luz y de la separación de los pares de portadores de carga y de su transporte hacia sus contactos correspondientes.

Para que los pares libres portadores de carga no puedan volver a combinarse, los recorridos en el semiconductor deben ser cortos (capas delgadas de pocos mm hasta 300 μm) y el material ser lo menos posible propenso a fallos de reflexión cristalina y no tener impurezas. Los procesos de producción emplean métodos como los que se utilizan también en microelectrónica. El material más utilizado para la elaboración de células solares es el silicio en forma cristalina, policristalina o amorfa.

Ejemplos de rendimiento obtenidos en laboratorio para:

Silicio	monocristalino	24%
	policristalino	17%
	amorfo	12%
CdS/Cu_2S		9%
$CuInSe_2$		17%
GaAs(1)		26%
Tándem de Si/GaAs(1)		37%

(1) luz solar concentrada

Cuando estos tipos de células solares se fabrican en serie, su rendimiento es aproximadamente una tercera parte menos.

Los altos rendimientos de las "células tándem" resultan de dos células colocadas en capas una detrás de otra de materiales distintos, las cuales transforman la luz de diferentes sectores espectrales en portadores de carga.

Las células solares individuales son conectadas entre sí formando módulos solares. La tensión producida siempre es continua, la cual puede transformarse en alterna mediante vibradores (p.ej. para alimentación a la red). Los datos característicos de un módulo son su tensión de salida y su potencia en relación a la exposición a pleno sol (≈ 1000 W/m^2).

Lo ideal en la fabricación de células solares es la obtención de componentes de grandes superficies mediante procesos de costes reducidos. Aparte de los procedimientos ya conocidos como el estiraje de cristales de la frita o bien la fundición de cristal con serrado posterior de las barras o bloques en lonchas, se estudian también otros procedimientos como el estiraje de bandas, la fundición de láminas y el corte de capas delgadas semiconductoras. Aunque actualmente los costes de obtención de energía solar son mayores que los de formas convencionales de generación de energía, se reducirán los costes mediante la mejora de la fabricación de las células, el incremento del rendimiento y la producción en grandes series. Para algunos casos, como el requerimiento de electricidad en un sitio aislado (consumidor sin conexión a la red) o para potencias pequeñas (relojes pequeños, calculadores de bolsillo), la fotovoltaica ya es hoy en día la solución más rentable.

Circuitos integrados monolíticos

Integración monolítica

La técnica planar se basa en que las lonchas de silicio (Wafers) se oxidan fácilmente y que las materias dopantes penetran en el óxido varias potencias de diez veces más lentamente que en el silicio; solamente donde hay aberturas en la capa de óxido hay dopaje. Estos diseños geométricos determinados por la construcción de circuitos integrados, son transferidos a los Wafers mediante procedimientos fotolitográficos. Todas las etapas del proceso (oxidación, nivelado, dopaje, corte) se efectúan uno tras otro desde un plano de superficie (planar).

La técnica planar permite la fabricación de todos los componentes de una conexión (resistencias, condensadores, diodos, transistores, tiristores), incluidas las uniones conductoras en un proceso de fabricación conjunta en una sola plaquita de silicio (chip). De componentes semiconductores se obtienen circuitos integrados monolíticos: circuitos integrados IC (Integrated Circuit).

Generalmente esta integración abarca un sistema parcial del circuito electrónico

en algunos casos también la totalidad del sistema (system-on-chip).

Grado de integración
Número de elementos funcionales o de transistores o de cuadrículas por chip. Según el grado de integración (y superficie del chip) se distingue entre:

SSI (Small Scale Integration)
Hasta aprox. 100 elementos funcionales por chip; superficie media del chip 3 mm^2.

MSI (Medium Scale Integration)
Aprox. de 100 a 1000 elementos funcionales por chip; superficie media del Chip 8 mm^2.

LSI (Large Scale Integration)
Hasta 100000 elementos funcionales por chip; superficie media del chip 20 mm^2.

VLSI (Very Large Scale Integration)
Más de 100000 elementos funcionales por chip; superficie media del chip 30 mm^2.

ULSI (Ultra Large Scale Integration)
Más de un millón de elementos funcionales por chip.

Para la construcción de circuitos integrados, con excepción de los SSI, son imprescindibles los métodos de simulación y de diseño mediante ordenador (CAE/CAD).

Subdivisión de los circuitos integrados

- Según la tecnología del transistor: Bipolar-unipolar (MOS).
- Según la técnica del circuito: analógicos, digitales, mixtos (analógicos/digitales)
- Según familias de componentes: analógicos, lógicos, de alamcenamiento, microcomponentes
- Según su aplicación: IC estándar, IC específico de aplicación (ASIC)

Circuitos analógicos integrados

Estructuras básicas: fuentes de tensión constante, fuentes de intensidad constante, etapas diferenciales amplificadoras, circuitos de acoplamiento, variaciones de potencial, etapas de salida.
Clases orientadas según su aplicación: amplificador de operaciones (OP = operational amplifier), reguladores de tensión, comparadores, temporizadores, convertidores, circuitos de interfaz.

IC analógicos especiales: referencias de tensión, amplificadores de banda ancha, multiplicador analógico, generadores de funciones, circuito de conmutación de regulación de fases, filtros analógicos, circuitos interface.

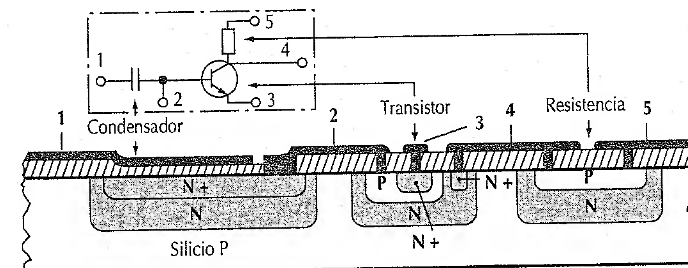
Circuitos digitales integrados

La escala va de SSI (cuadriculado) pasando por MSI/LSI (circuitos integrados combinatorios), LSI/VLSI (memoria, microprocesadores, microcontroladores).

Los componentes digitales sólo pueden conectarse entre sí en un sistema si coinciden las tensiones de alimentación, el nivel de Lógica y el orden de magnitud de los tiempos de conmutación y los tiempos de paso de una señal. Esa exigencia se cumple siempre dentro de una familia de circuitos. Los más importantes son:

- TTL Standard (Transistor – Transistor - Logic)
- TTL Schottky
- TTL Low Power Schottky
- ECL (Emitter Coupled Logic)
- I^2 L (Integrated Injection Logic)
- Lógica MOS, especialmente Lógica CMOS.

Circuito integrado monolítico sencillo (bipolar). Circuito y ejecución. 1 a 5, *Conexiones*



Memoria semiconductora

El almacenamiento de datos incluye las siguientes operaciones: registro (escritura, entrada de datos), almacenamiento (en el sentido estricto), recuperación y lectura. La memoria funciona aprovechando propiedades físicas que permiten producir y reconocer de forma inequívoca dos estados opuestos (información binaria). En las memorias semiconductoras estos estados son "conductor/no conductor" y "cargado/no cargado". Este último se basa en propiedades especiales de la unión silicio/silicio o nitruro de silicio/metal.

Las memorias semiconductoras se dividen en los dos grupos principales: transitorias y no transitorias. Memorias transitorias (memorias de períodos cortos) pueden ser leídas y grabadas a discreción y por ello son designadas como RAM (Random Access Memory); su contenido de información se pierde al desconectar la tensión de alimentación. Memorias no transitorias (memorias de períodos largos) mantienen la información grabada también después de la desconección de la tensión de alimentación y por eso se llaman también memorias de valor fijo. En el gráfico se muestra la clasificación y las relaciones de los tipos más comunes de memorias.

Microprocesadores y microordenadores

El microprocesador es la integración de la unidad central de una calculadora en un chip. Se consiguió en 1971 y constituye el fundamento importante de la microelectrónica hasta su significado actual. La concepción del microprocesador impide la individualización a pesar de la gran integración y posibilita la adaptación a las múltiples exigencias de la práctica a través de la programación. Un microprocesador por sí mismo no es funcional; siempre forma parte de un microordenador.

El microordenador consta de:
- Microprocesador como unidad central (CPU = Central Processing Unit)
- Unidades de entrada y salida (I/O = Input/Output), que controlan el tránsito de datos con los dispositivos periféricos.
- Memoria del programa, en la cual el programa de trabajo (programa del usuario) está almacenado de forma imborrable, por ello es ROM o PROM o EPROM.
- Memoria de datos con los datos que se encuentran momentáneamente en trabajo. Estas informaciones varían continuamente, por ello es RAM.
- Generador de pulsos y sistema de alimentación de corriente.

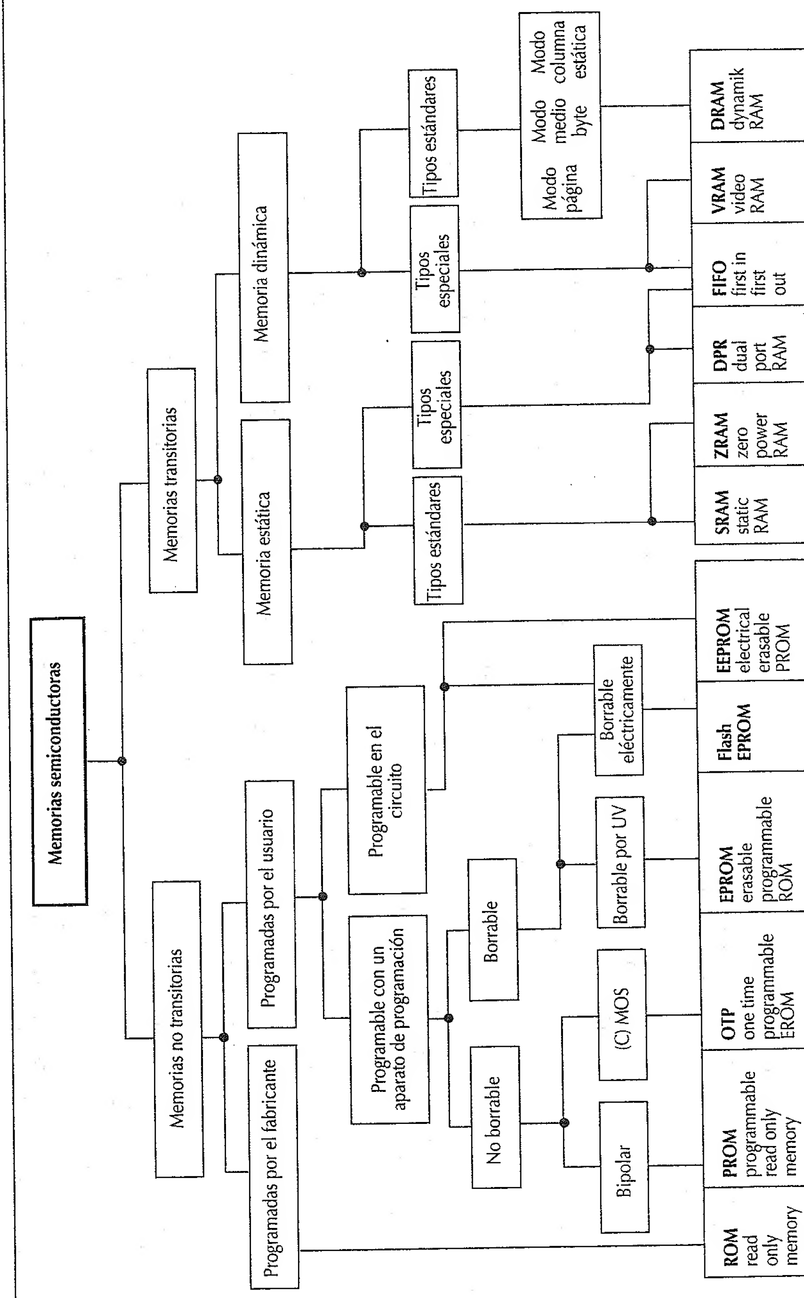
El sistema Bus une los distintos elementos del microordenador. Un generador de pulsos cuida de que todas las operaciones del microordenador tengan lugar según unos tiempos prefijados. Como lógica adicional se destinan componentes con misiones especiales, tales como, por ejemplo, interrupción (Interrupt) de un programa, inserción de un programa intermedio, y otros. Como periféricos se designan aparatos de entrada y de salida y memorias externas.

Los componentes principales de un microordenador son circuitos propios unidos en placas conductoras propias o integrados en una sola plaquita de silicio. Un elemento que contiene integrada la función CPU, la memoria de valor fijo (como ROM, EPROM o EEPROM), la facultad de Entrada-Salida (I/O) y la memoria de escritura-lectura (RAM), y que puede trabajar sin componentes adicionales, se llama: Microordenador de un chip, calculadora de un chip o microcontrolador.

El Transputer es un microprocesador especial, apropiado especialmente para la composición de redes de procesadores paralelos. A parte de los componentes usuales de un microprocesador, dispone en el mismo chip de hardware de comunicación y de procesamiento de datos.

Posee cuatro canales de transmisión en serie bidireccionales (links), con los cuales puede comunicarse de forma muy rápida (20 Mbit/s por cada link) con otros transputers. La comunicación tiene lugar de forma totalmente asíncrona, de manera que la red distribuida de procesadores no requiere un circuito de reloj común. Cada link posee un controlador DMA propio, el cual puede llevar a cabo por su cuenta la transferencia de datos, una vez haya sido inicializado por la CPU. De esta forma el cálculo y la comunicación transcurren en su mayor parte de forma paralela. Hay que resaltar en especial los tiempos extremadamente cortos de conmutación de proceso y de respuestas de interrupción de aprox. 1 μs. Para ello el transputer no necesita ningún siste-

Sinopsis memorias semiconductoras



ma operativo de tiempo real, pues ya posee en su repertorio de órdenes las necesarias para el procesamiento.

El transputer funciona como un nodo de comunicaciones dentro de una red paralela, esto significa que, además de realizar cálculos, actúa como una interfaz de comunicaciones. De esta forma se evita la desventaja básica de los sistemas de redes de procesadores paralelos que tienen que compartir un Bus común.

Circuitos integrados de aplicación específica

A diferencia de los circuitos integrados estándar, los de aplicación específica (ASIC application specific integrated circuits) son solamente para un uso determinado. Son fruto de la colaboración afortunada entre usuarios con experiencia en sistemas, y fabricantes que disponen de tecnologías apropiadas. Ventajas principales de las ASIC: menos componentes, costes de los más reducidos, más fiabilidad, más impedimento para ser copiados.

La acostumbrada división de las familias de ASIC se orienta según el método de desarrollo que se elija: la conmutación en el chip, construida con elementos individuales de función ("conmutación plena para el cliente": full custom IC), obtiene resultados óptimos referentes a función y densidad de ensamblaje, pero apropiada solamente para series muy grandes (tiempo, costes).

Un paso hacia la racionalización del procedimiento de desarrollo lo forman las funciones básicas estandarizadas de conexiones (previamente desarrolladas y comprobadas) como células de tamaño variable (ROM, RAM, núcleos de procesadores, o diferentes grupos de conexiones de aplicación específica). Dependiendo de la colección disponible de tales células de aplicación específica, se consiguen buenos tiempos de procesado con un aprovechamiento mejor de la superficie del chip.

El siguiente paso es la utilización de funciones básicas estandarizadas con más o menos funciones lógicas complejas, previamente desarrolladas en células estándar de una misma altura y de ancho variable. Están dispuestas para su uso en forma de biblioteca de células. Estas células estándar se colocan automáticamente en serie y luego conectadas también automáticamente con bandas de polisilicio y aluminio. Se consigue aún un mejor aprovechamiento de la superficie dándole dos o tres capas de metalizado.

Los Gate-Arrays son predesarrollados hasta la conección transistor/puerta, y son fabricados en progresión, dejando sólo las operaciones finales de enmascaramiento para completarlas más tarde. Luego la conexión con la circuitería del usuario es automática. La racionalización se alcanza proporcionando circuitos estándares de las funciones computacionales básicas más frecuentes (de forma similar a la librería de células). Se diseñan Gate-Arrays especiales para aplicaciones específicas que presentan ventajas particulares (p. ej. circuitería digital orientada a computadores para aplicaciones en entornos estándares).

Bloques lógicos programables (PLD Programmable Logic Devices). Son conjuntos de transistores preconectados. El usuario los programa para una aplicación específica de forma parecida a una PROM. Los PLD proporcionan así a los desarrolladores de sistemas la opción de producir circuitos experimentales de silicio en cortos períodos de tiempo. La producción de sistemas complejos en silicio es cada vez más importante, ya que permite la producción de modelos de trabajo prácticos durante la fase de desarrollo.

Circuitos integrados Smart-Power

En sistemas de la electrónica del automóvil e industrial muchos elementos de ajuste o cargas debe gobernarse electrónicamente. Para ello los correspondientes desconectores de potencia deben realizar funciones adicionales: conexiones de mando para transistores de conexión; conexiones de protección contra sobretensiones, sobrecorrientes, sobretemperaturas; indicaciones de fallos. Tales circuitos integrados de potencia se designan genéricamente como Smart-Power IC.

Circuitos en capas y circuitos híbridos

Circuitos en capas

En un circuito integrado en capas, los elementos pasivos de conexión —preferentemente bandas de conductores, aislamientos y resistencias, y también condensadores e inductividades— están en un soporte (substrato). Las designaciones de circuitos de capa fina y de capa gruesa surgieron en su día como característica de distinción por el espesor de la capa. Hoy en día más bien se diferencian por los métodos de fabricación.

Circuitos de capa fina

Circuitos integrados de capas, en los cuales las capas son depositadas sobre portadores de vidrio o cerámica, preferentemente por el procedimiento de recubrimiento al vacío. Ventajas: alta densidad de elementos de conexión mediante estructuras finas (hasta aprox. 10 μm), muy buenas cualidades de alta frecuencia, resistencias de bajo ruido. En contraposición están unos costes de fabricación elevados.

Circuitos de capa gruesa

Circuitos integrados de capas, en los cuales las capas se depositan sobre soportes cerámicos, preferentemente por el proceso de serigrafía y seguido de horno. Ventajas: alta densidad de elementos de conexión obtenida por estructura de varias capas, buenas cualidades de alta frecuencia y posibilidad de fabricación en su mayor parte automatizada en series grandes.

Substratos cerámicos multicapa

En los substratos cerámicos de multicapa el material inicial son láminas cerámicas no cocidas, sobre las cuales se aplican bandas de conductores mediante serigrafía. Varias de estas láminas son luego laminadas en una multicapa y sinterizadas a altas temperaturas (850 a 1600 °C), dando lugar a un cuerpo sólido con bandas conductoras integradas. La conexión eléctrica entre las diferentes bandas se efectúa mediante pasta metálica introducida en agujeros de las láminas individuales. Mediante materiales apropiados se integran también resistencias y condensadores. En comparación con los circuitos de capa gruesa se tiene una densidad mucho mayor de circuitos.

Circuitos híbridos

Circuitos integrados de capas con componentes adicionales (condensadores, diodos, transistores y circuitos semiconductores integrados), que se unen por soldadura o pegamento. La utilización de chips semiconductores no envueltos, contactados mediante bondeado, o componentes SMD (surface mounted device) permite una alta densidad de componentes. Mediante substratos cerámicos multicapa pueden realizarse aparatos híbridos de mando extremadamente pequeños (microhíbridos). Ventajas: altas temperaturas de montaje admitidas gracias a la buena disipación del calor, buena resistencia a las vibraciones debido a su construcción compacta y pequeña así como también buena aptitud para altas frecuencias. Las conexiones híbridas se prestan en especial para la industria del automóvil y para la técnica de comunicaciones.

MCM

Con MCM (Multi Chip Modul) se define un componente electrónico que consiste en varios semiconductores integrados (IC) "no envueltos". La base es un substrato portador que lleva incorporado al cableado interno. Los IC no están envueltos y contactan mediante bondeo o por soldadura TAB o flip-chip. Si es necesario, un MCM contiene también resistencias y condensadores.

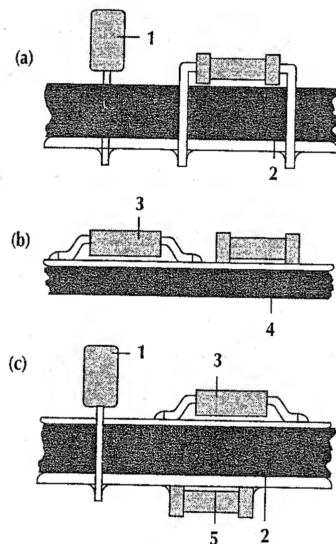
Según el material del substrato se diferencia entre:
- MCM-C substrato multicapa cerámico
- MCM-D capa delgada mayoritariamente sobre silicio
- MCM-L laminado multicapa orgánico

Los MCM en la mayoría de los casos son empleados por motivos funcionales, p.ej. los tiempos rápidos de conexión en núcleos de procesadores, el comportamiento favorable electromagnético o sus dimensiones muy reducidas. A menudo se realizan con los MCM funciones eléctricas que no pueden alcanzarse todavía o no de forma rentable con las técnicas actuales de circuitos integrados.

Tecnología de láminas para circuitos impresos, SMT

Los circuitos de un sistema electrónico se realizan en principio mediante tecnología de semiconductores, de híbridos y de lá-

Técnica de placas conductoras, variantes de estructuras
(a) *Montaje por penetración (convencional),* **(b)** *Equipo SMD sobre substrato de cerámica (técnica híbrida),* **(c)** *Equipo mixto*
1 *Componentes con alambres,* **2** *Placa conductora,* **3** *Chips,* **4** *Substrato cerámico,* **5** *Pegamento*



minas conductoras. La decisión se orienta dependiendo de los factores de rentabilidad (costes, tamaño de las series), los plazos de tiempo (tiempo de desarrollo, duración de vida útil de la pieza) y de las condiciones circundantes (eléctricas, térmicas, mecánicas).

La técnica de placas conductoras es la forma clásica de la realización de una conexión electrónica. En su ejecución más sencilla se utiliza una placa de cartón duro o una placa de plástico con fibra de vidrio como portadora de los componentes electrónicos. Las bandas conductoras (lámina de cobre) se colocan sobre la placa mediante un procedimiento de impresión (por ello también: circuitos impresos) o bien se hacen por corrosión en una placa recubierta de cobre. Los alambres de contacto de los componentes son introducidos en taladros y luego soldados a las bandas conductoras.

Con el creciente grado de integración de los circuitos integrados, crecieron también rápidamente los números de polos de conexión (pins) y comenzó la transición de la técnica convencional del montaje con colocación por penetración o introducción a la técnica de montaje en la superficie (SMT Surface Mount Technology). Mientras tanto se dispone de una amplia gama de componentes capaces de ser montados en la superficie (SMD), que sueldan en la de la placa conductora. Estos componentes SMD y sus formas son muy apropiados para emplearlos en máquinas automáticas.

Las principales ventajas de aplicación de la técnica de montaje en superficie (SMT) son:

- fabricación racional de componentes (alto grado de rendimiento de montaje y de seguridad de montaje),
- menor requerimiento de superficie a igualdad de funciones,
- utilización de placas conductoras normales (p.ej. epoxi- fibra de vidrio),
- eliminación o reducción del número de taladros por placa
- combinable con componentes alambrados
- incremento de la fiabilidad por reducción de puntos de unión
- circuito más racional mejor acoplamiento y más facilidad de reproducción,
- mejores cualidades de alta frecuencia.

En la técnica de montaje en superficie el complejo total de la técnica de trabajo tiene una importancia mucho mayor que en la tradicional por penetración. Las ventajas del montaje en superficie son tanto mayores cuanto mejor sean los componentes, el diseño de la placa conductora, el montaje automático, la técnica de uniones, los controles, las reparaciones, etc.

Micromecánica

Como micromecánica se designa a la fabricación de componentes mecánicos semiconductores (por regla general de silicio) con ayuda de las técnicas de los semiconductores, es decir aprovechando no solamente a las cualidades semiconductoras del silicio sino también sus propiedades

Tamaño	Unidad	Silicio	Acero (máx.)	Acero inoxidable
Carga tracción	10^5 N/cm^2	7,0	4,2	2,1
Dureza Knoop	kg/mm^2	850	1500	660
Módulo elást.	10^7 N/cm^2	1,9	2,1	2,0
Densidad	g/cm^3	2,3	7,9	7,9
Conductividad térmica	W/cm · K	1,57	0,97	0,33
Dilatación térmica	10^{-6}/K	2,3	12,0	17,3

mecánicas. Los primeros sensores de presión micromecánicos de silicio se utilizaron en el automóvil a comienzos de los años 1980. Las dimensiones mecánicas típicas son del orden de micrómetros.

Las cualidades mecánicas del silicio (p.ej. resistencia, dureza y módulo de elasticidad, figuran en la tabla) pueden compararse con las del acero. Sin embargo, el silicio es notablemente más liviano y posee una conductividad calórica mayor que el acero. Las lonchas (Wafer) de silicio monocristalino utilizadas poseen cualidades mecánicas casi perfectas: la histéresis y las fugas son despreciables. Debido a la aspereza del material monocristalino, el diagrama de tensado/estirado no evidencia ningún margen de plasticidad y el material se rompe al superar el límite elástico.

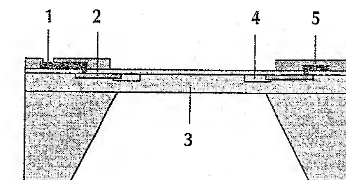
Para la fabricación de estructuras micromecánicas se utiliza, además de los métodos usuales de la técnica de los semiconductores, la corrosión anisótropa con o sin paro de corrosión y bondeado/bondeado directo anódico. En la corrosión anisótropa el ataque de los hidróxidos alcalinos es muy diferente según sea la orientación cristalina. Así existen direcciones cristalinas que son atacadas hasta 200 veces más lentamente que otros planos cristalinos con un índice de corrosibilidad mayor.

En el ejemplo de fabricación micromecánica de un sensor de presión (véase figura), se representan los procesos. Mediante procedimientos microelectrónicos se forman en la superficie del Wafer resistencias y sus correspondientes conexiones eléctricas. Una abertura definida litográficamente en la parte trasera permite que el medio corrosivo anisótropo pueda atacar al silicio. El plano cristalino ubicado en el plano horizontal se corroe muy rápidamente, mientras que las orientaciones cristalinas laterales bajo un ángulo característico del cristal de silicio no se corroen.

De esta forma se corroe tridimensionalmente la estructura litográfica. Según el paro electroquímico de la corrosión, dicha corrosión deja de actuar cuando llega a la superficie de la unión PN, de manera que se forma una membrana con un espesor típico entre 5 y 50 μm.
El máximo del estiramiento mecánico se ubica cerca del canto de tensado. Las resistencias implantadas en ese lugar sufren un cambio debido al efecto piezorresistivo (variación de resistencia producida por un estiramiento mecánico), el cual puede ser recogido como señal eléctrica por los contactos exteriores. El elemento sensor micromecánico tiene, en el caso de un sensor de presión de succión, las formas cúbicas típicas de 3 x 3 x 3 mm.

Mediante etapas de procesos microelectrónicos pueden producirse en la superficie del Wafer no solamente resistencias sino también transistores y circuitos completos. Así se pueden ubicar en el mismo componente la amplificación completa de señal y la compensación. La integración de micromecánica y de microelectrónica se llama técnica de microsistemas.

Sensor de presión micromecánico
1 *Conexión eléctrica,*
2 *Línea de alimentación (de baja resistencia),*
3 *Membrana de silicio,*
4 *Resistencia piezo,*
5 *Conducción de aluminio*



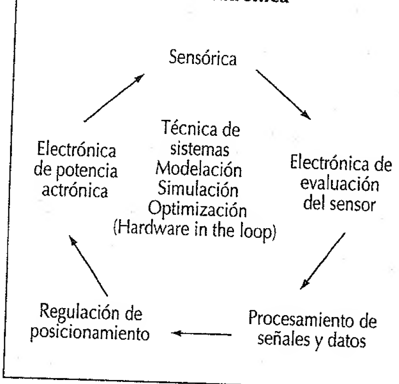
Mecatrónica

La mecatrónica es una ciencia de la ingeniería que obtiene la funcionalidad de un sistema técnico mediante una estrecha combinación de componentes mecánicos, electrónicos y de procesamiento de datos. Los sistemas mecatrónicos adquieren cada vez más importancia en los componentes de regulación (en especial en la técnica del automóvil y de producción). Ejemplos: sistemas de gobierno de motores diesel y Otto, ABS, ASR, regulación del avance y sistemas de dirección, máquinas herramienta CNC y sistemas de manejo. A menudo los componentes mecánicos de estos sistemas no son lineales y poseen una banda de transmisión grande.

El desarrollo de sistemas mecatrónicos requiere un método de trabajo en cuya concepción intervienen varias especialidades, entre las que tienen una importancia decisiva las técnicas modernas de programación de software (software engineering). Métodos clásicos de análisis y de diseño de la técnica de regulación son completados, y en parte substituidos, por simulación a tiempo real y por identificación y optimización de parámetros con utilización de componentes reales (Hardware in the loop).

La "técnica de microsistemas" pretende lograr la miniaturización de los sistemas mecatrónicos por integración la microelectrónica y de la micromecánica.

Conexiones de la mecatrónica



Transformación analógica/digital

Las señales analógicas son magnitudes eléctricas cuya amplitud, frecuencia o fase contienen informaciones sobre procesos técnicos o magnitudes físicas. Pueden tomar en cualquier instante (continuidad en el tiempo), dentro de determinados límites, cualquier valor intermedio (continuidad de valor). En la técnica analógica estas señales eléctricas son ulteriormente procesadas. Tras un proceso de amplificación y filtrado, se utilizan para operaciones matemáticas como adiciones, multiplicaciones, así como también para cálculos integrales sobre el tiempo, etc. El amplificador de operación (OP), como componente de mayor importancia en la técnica analógica, es un circuito integrado de amplificación, cuyas características ideales (amplificación infinita, ninguna corriente de alimentación) se determinan mediante un circuito externo relativamente sencillo.

La técnica analógica tiene la desventaja que los valores característicos (cualidades) de los componentes se alteran por envejecimiento, que las variaciones de temperatura influyen en su exactitud y que en su fabricación, por general, son necesarios procesos de ajuste.

Al pasarse a señales digitales, se efectúa una selección en valor y tiempo, es decir que en determinados momentos (instantes de exploración) se extraen pruebas de las señales analógicas; a estas pruebas se les asigna un valor numérico, por lo cual el número de valores (cuantificación) y con ello su resolución, son limitados.

Para la representación de estos valores numéricos no se utiliza en la técnica digital el sistema decimal, sino el binario, el cual para los ordenadores resulta más fácil de manejar.

Ejemplo: 101 (binario) =
$1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 5$ (decimal)

El bit de valor máximo (posición) se designa como MSB (most significant bit), el de valor mínimo como LSB (least significant bit). En la representación como elemento binario el MSB indica el signo del número decimal (1 es negativo, 0 es positivo). Mediante tres bits se representan los valores de –4 hasta +3.

Ejemplo: $101 = -1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = -3$.

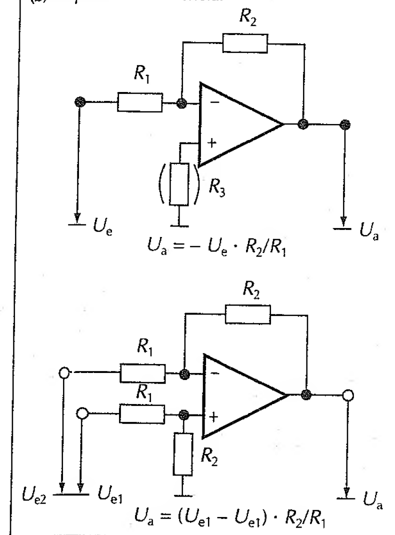
Mediante n bits se pueden representar 2^n valores diferentes. Con 8 bits son 256; con16 bits, 65 536. Con una tensión de alimentación analógica de ± 5 V (FSR full scale range) esto lleva a una resolución (valor del LSB) de 39 mV con 8 bit y 0,15 mV con 16 bit.

El ancho de banda de la señal a explorar tiene que ser limitado (antialiasing filter). La frecuencia mayor de la señal f_g debe de ser menor que la mitad de la frecuencia de exploración f_A ($f_A > 2 \cdot f_g$). Si se utiliza un dispositivo de exploración y retención (sample and hold), la máxima variación admisible en la tensión de entrada durante el periodo de conversión analógica/digital (tiempo de apertura) es un LSB.

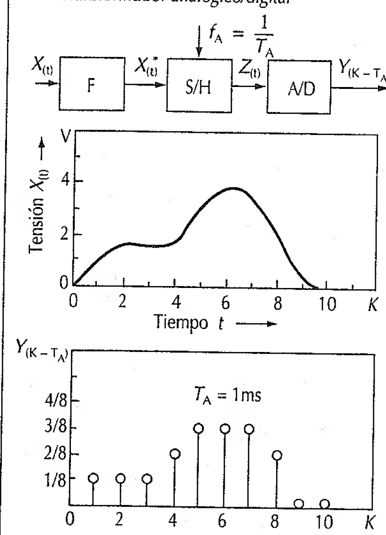
La función de transferencia muestra cómo se asigna un único valor digital a varias tensiones de entrada. La amplitud máxima del error de cuantificación es $Q/2$ (error de redondeo) con $Q = FSR/(2^n) \triangleq$ LSB.

El proceso de cuantificación genera ruido de cuantificación que se añade a la señal útil. Si el convertidor A/D está modulado plenamente por una señal sinusoidal, entonces resulta una relación de señal/ruido que aumenta aprox. 6 dB por cada bit adicional de resolución. El convertidor A/D real presenta desviaciones con respecto a la curva ideal de transferencia por errores de desajustes, amplificación y linealidad (errores estáticos) así como también debido a errores de inseguridad de apertura y de tiempo finito de ajuste de oscilación (errores dinámicos).

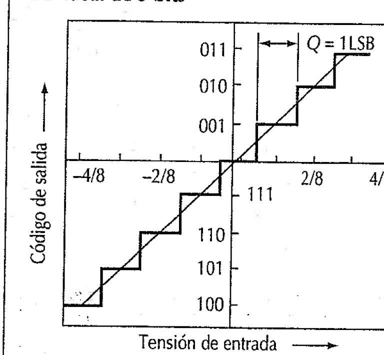
Amplificador de operaciones
(a) Amplificador de inversión
(b) Amplificador diferencial



Digitalización de una señal analógica
F Filtro, S/H Eslabón de captación-sujeción, A/D Transformador analógico/digital



Función de transferencia de un convertidor A/D ideal de 3 bits



Sensores

Fundamentos

Misión

Los sensores transforman magnitudes físicas o químicas (mayormente no eléctricas) en magnitudes eléctricas (a veces a través de etapas intermedias no eléctricas).

Clasificaciones

1. Misión y aplicación
– función (mando, regulación)
– seguridad y seguros
– supervisión e información.

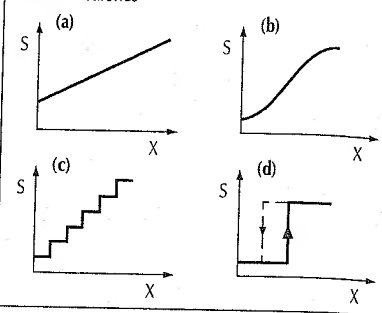
2. Tipos de líneas características
– Lineal constante: misiones de mando sobre un amplio rango de mediciones
– Constante no lineal: regulación de una magnitud de medición en un rango más estrecho de medición
– No constante en varios escalones: supervisión de un valor límite, cuya proximidad tiene que ser comunicada a tiempo
– No constante de dos escalones (en ocasiones con histéresis): supervisión de un valor límite a cuyo alcance es posible una fácil solución o que es necesaria más adelante.

3. Tipo de señal de salida
Señal de salida proporcional a:
– Corriente/tensión, amplitud
– Frecuencia/duración del período y
– Duración de la pulsación/relación de exploración.
Señal de salida discreta:
– de dos escalones (binaria)
– de varios escalones (de escalonado diferente) y
– de varios escalones (equidistantes) o digital.

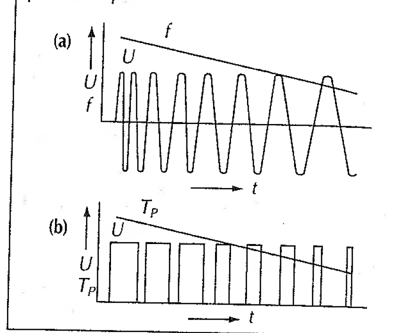
Aplicación en el automóvil

Los sensores y actuadores forman como periferia los puntos de intersección del vehículo con sus complejas funciones de propulsión, frenado, suspensión y traslación (también funciones de guía y de navegación) y el equipo de mando, mayoritariamente electrónico digital, como unidad de procesamiento. Por regla un circuito de adaptación transforma las señales del sensor en la forma estandarizada requerida por el equipo de mando (cadena de mediciones, sistema de recogida de valores de medición).

Tipos lineales característicos
S Señal de salida, X Magnitud de medición
(a) *Lineal constante,* **(b)** *Constante no lineal,* **(c)** *No constante con escalonado distinto y* **(d)** *No constante de dos escalones*



Formas de señales (ejemplos)
Señal de salida U: **(a)** *Frecuencia f,* **(b)** *Duración de la pulsación Tp*



También pueden intervenir en el proceso informaciones de sensores de otras unidades de procesamiento así como también del conductor del vehículo mediante interruptores sencillos de mando.

Unidades de indicación informan sobre la situación y el transcurso del proceso global "vehículo".

Principales requerimientos, tendencias

Las condiciones de trabajo (influencias mecánicas, climáticas, químicas, electromagnéticas) reinantes en el lugar, determinan las cargas de un sensor (clases de protecciones usuales véase DIN 40 050 hoja 9).

Dependiendo de la misión y los requerimientos, los sensores para vehículos se clasifican en tres clases de fiabilidad:

1. Dirección, frenado, protección de pasajeros
2. Motor, transmisión, suspensión, neumáticos
3. Comodidad, información/diagnóstico, antirrobo

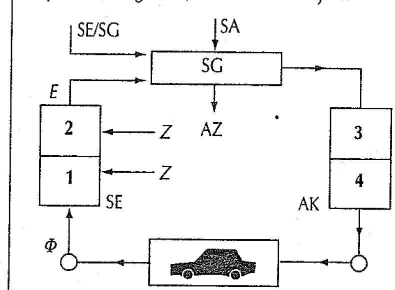
Para montajes reducidos, existen distintos procedimientos para la miniaturización:
– Técnica de capas e híbrida (sensores de presión y temperatura)
– Técnica de semiconductores (medición de revoluciones, p.ej. mediante sensores Hall),
– Micromecánica (sensores de presión y aceleración) y
– Técnica de microsistemas (combinación de micromecánica, microelectrónica y eventualmente microóptica)

Sensores integrados "inteligentes"
La integración monolítica o híbrida de sensores y electrónica de señales en el lugar de medición hasta los circuitos complejos digitales como transformadores A/D y microordenadores (mecatrónica), aprovechan plenamente la exactitud del sensor y ofrece las siguientes posibilidades:
– Alivia la carga del aparato de mando
– Punto de acoplamiento uniforme, flexible y apto para bus
– Utilización múltiple de sensores
– Estructuras de multisensores
– Aprovechamiento de pequeños efectos de mediciones así como también de efectos de mediciones de alta frecuencia (amplificación, demodulación *in situ*) y
– Corrección de desviaciones de sensor en el punto de medición, así como ajuste y compensación conjuntos del sensor y circuito, simplificado y mejorado mediante memorización de la información individual de corrección en PROM.

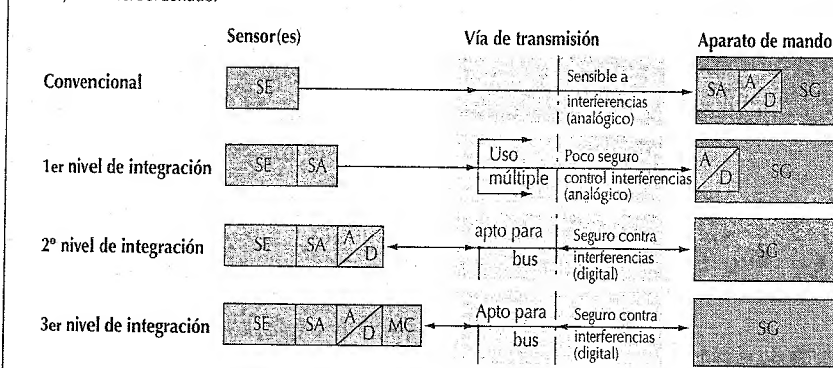
Sensores de fibra óptica
Por sus ventajas específicas aumentarán su importancia en el automóvil en los próximos años.

A la luz conducidad por las fibras ópticas le influyen diferentes magnitudes físicas en su intensidad, fase (luz coherente de un láser) y polarización. Los sensores de fibra óptica no son sensibles a interferencias electromagnéticas, pero sí a las

El sensor en el vehículo
Φ Magnitud física, E Magnitud eléctrica, Z Magnitudes de interferencia, AK Actuador, AZ Indicación, SA Interruptor, SE Sensor(es), SG Aparato de mando
1 *Captador de valores de medición,* **2** *Circuito de adaptación,* **3** *Agitador,* **4** *Elementos de ajuste*



Niveles de integración de los sensores
SE Sensor(es), SA Procesamiento (analógico) de señales, A/D Transformador analógico-digital, SG Aparato (digital) de mando, MC Microordenador



presiones mecánicas (sensores moduladores de intensidad), y algo a la suciedad y el envejecimiento. Las fibras de plástico de costes más reducidos, son ya aptas para el campo de temperaturas en el automóvil.

Sensores extrínsecos
El conductor de luz normalmente solo aporta la luz; debe de salir del conductor para ejercer su efecto.

Sensores intrínsecos
El efecto de medición solo tiene lugar en el interior de las fibras.

Modelos de sensores

Sensores de posición (recorrido/ángulo)

Los sensores de posición registran posiciones de recorridos de espacios y de ángulos por procedimientos de medición con contactos deslizantes o sin contacto.

Magnitudes de medición directa:
- posición de la válvula de mariposa
- posición pedal de marcha
- posición del espejo retrovisor y del asiento
- recorrido de la cremallera
- nivel del depósito

Magnitudes de medición indirectas:
- posición de válvula de retención (paso)
- posición de un sistema de masa de muelle (aceleración)
- posición de una membrana (presión),
- recorrido monomuelle (amplitud de iluminación)
- par de giro

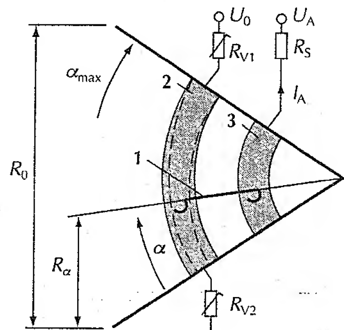
Aplicaciones nuevas
- carrera del regulador de embrague
- distancia vehículo-vehículo/obstáculo,
- ángulo del volante
- ángulo de dirección
- ángulo de inclinación
- ángulo de dirección de marcha y
- ángulo del pedal de freno.

Potenciómetros deslizantes o de capas
Con fines de medición un potenciómetro deslizante aprovecha la analogía entre la longitud de una resistencia de alambre o de capas (banda conductora) y el valor de su resistencia. En la actualidad es el sensor de recorrido/ángulo de mejor coste.

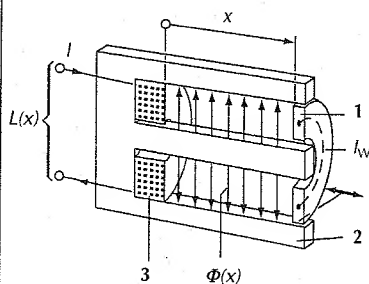
Como protección contra sobrecargas se acopla generalmente la tensión a pequeñas resistencias previas R_v (también para ajustes del punto cero y de pendientes) en la banda de medición. La variación del contorno del ancho de la banda de medición (también solo en algunos trozos) influye en la forma de la línea característica.

La conexión deslizante generalmente se efectúa sobre una segunda banda de medición de igual superficie, pero con substrato de material de pocos ohmios. El desgaste y los falsos valores medidos se evitan mediante un apoyo deslizante de poca carga (I_A < 1 mA) y un encapsulado impermeable al polvo.

Potenciómetro deslizante
1 Deslizador, 2 Banda de resistencia, 3 Banda de contacto. U_0 Tensión de alimentación, U_A Tensión de medición, R Resistencia, α Ángulo de medición



Sensor de anillo de cortocircuito
1 Anillo de cortocircuito (móvil), 2 Núcleo blando magnético, 3 Bobina. I Corriente, I_W Corriente parásita (de Foucault), L(x) Inductividad y Φ(x) Flujo magnético en el recorrido x



Sensores de anillo de cortocircuito
Los sensores de anillo de cortocircuito constan de un núcleo blando magnético de chapa (recto o curvado en U o en E), de una bobina y de un anillo de cortocircuito móvil de buena conductividad, de cobre o de aluminio, que representan inductividades variables. Las corrientes parásitas (o de Foucault) en el anillo de cortocircuito limitan la extensión del flujo magnético al espacio entre el anillo y la bobina. Prácticamente puede utilizarse la totalidad del largo del sensor para fines de medición. La masa a moverse es muy reducida. Una variación de la distancia de la aleta influye en la forma de la curva característica: una disminución de la distancia de la aleta hacia el final del campo de medición mejora aún más la ya buena linealidad. Según el material y la forma constructiva funciona entre 5 y 50 kHz.

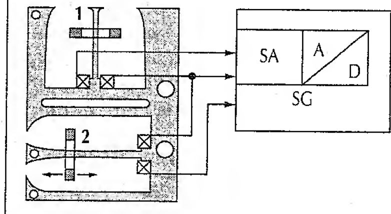
Los sensores semidiferenciales con anillo de cortocircuito móvil de referencia y anillo fijo de medición cumplen altas exigencias de exactitud (sensor de recorrido de regulación para bombas de inyección en línea para motores diesel, sensor angular en el cuantificador para bombas de inyección de distribución en motores diesel). Se utilizan como
- divisores de tensión inductivos (evaluación L_1/L_2 o $(L_1 - L_2)/(L_1 + L_2)$ o como
- elementos determinantes de la frecuencia de una conexión oscilante para la obtención de una señal analógica de frecuencia (muy seguro contra interferencias y fácil de digitalizar).

El efecto de medición es relativamente grande, típico $L_{max}/L_{min} = 4$.

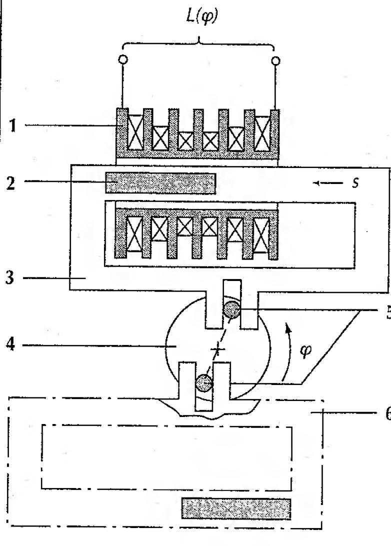
Sensor "inteligente" de anillo de cortocircuito
Con la unión del sensor y la evaluación de señales (ASIC) puede simplificarse mucho la forma del núcleo y mejorarse la exactitud por el ajuste conjunto y compensación conjuntos de la temperatura del sensor y del circuito.

Otros sensores
Sensores de inducido de inmersión, de válvula diferencial de estrangulamiento y de transformador diferencial. Se basan en la variación de la inductividad de una bobina individual o sea en la relación parcial con los divisores de tensión, con núcleos móviles, alimentados por acoplamiento directo o magnético. A menudo el largo de la pieza supera notablemente el recorrido de medición. Un bobinado escalonado en cámaras desiguales evita estos inconvenientes. Para la medición de ángulos se tiene que transformar mecánicamente el ángulo de giro en longitud.

Sensor semidiferencial
1 Anillo de cortocircuito de referencia (fijo), 2 Anillo de cortocircuito de medición (móvil). A/D Convertidor analógico-digital, SA Evaluación de señal, SG Aparato de mando



Sensor de inducido de inmersión para valores de pedal
1 Bobina multicámara, 2 Núcleo de ferrita, 3 Sobremoldeado plástico con conducción de corredera, 4 Eje de giro con (5) Pasador guía, 6 Sistema redundante L(φ) Inductividad, φ Ángulo de medición, s Recorrido de medición



Sensores de corriente de Foucault de alta frecuencia (electrónica en el punto de medición). Sirven p.ej. para la medición sin contacto del ángulo de la mariposa. En este caso se varía la inductividad de bobinas, en su mayoría no férreas, mediante el acercamiento de piezas de forma conductoras (spoilers) o superposición variable con éstas. Por la frecuencia de régimen a menudo alta (rango de MHz) se aplica la electrónica de la señal casi siempre directamente en el sensor. Esto es el caso p.ej. en las bobinas enrolladas espacialmente sobre un cuerpo cilíndrico (sensor diferencial) para la medición del ángulo de la mariposa. Lo mismo ocurre para un sensor con bobina sencilla alargada accionado con frecuencias notablemente inferiores (aprox. 7,5 kHz) para la captación de la posición del embrague (campo de medición 70 mm). Mientras que en el primer caso se mueve a un spoiler (de aluminio) conformado con sus correspondientes entalladuras más o menos sobre la bobina, en el segundo caso se introduce más o menos profundamente un simple tubo de cortocircuito de aluminio en el interior de la bobina de medición.

Circuitos integrados Hall. Se prestan principalmente para la medición de recorridos cortos, captando la intensidad de campo fluctuante de un imán permanente que se acerca o aleja. Unido firmemente a un pequeño imán permanente de punto de trabajo, también sirven – montados en línea – para la medición digital de ángulos, si sobre ellos gira un disco magnético con entalladuras correspondientes a un código digital (ejemplo: medición del ángulo del volante para la regulación dinámica de la conducción).

Sensores del futuro

Sensores magnetorresistivos de capas delgadas de NiFe (AMR Anisotrop magnetoresistive, capas delgadas de NiFe, Permalloy) permiten una estructura muy compacta, sin contactos de sensores angulares.

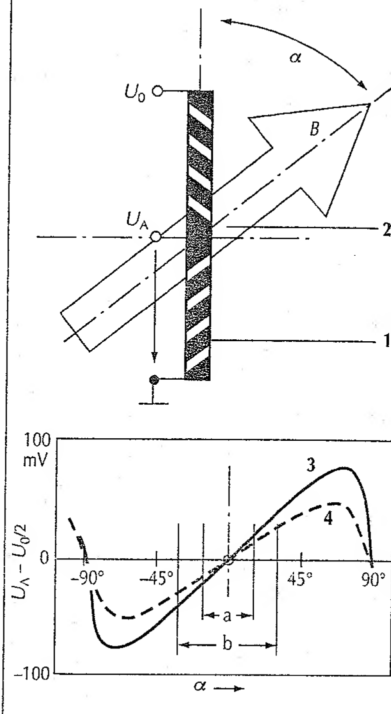
Como material portador se usan láminas oxidadas de silicio, en las que, por principio, se puede integrar la electrónica para la evaluación de señales. El campo magnético B de mando en la mayoría de las veces está producido por un imán que gira el sensor.

Sensores angulares magnetorresitivos en la versión "Barberpol" con exactitud muy limitada y campo de medición reducido (máx. ± 15 °C). Utilizan la desintonía de un divisor de tensión magnetorresistivo, que consta de resistencias longitudinales de permalloy con tiras transversales altamente conductivas de oro.

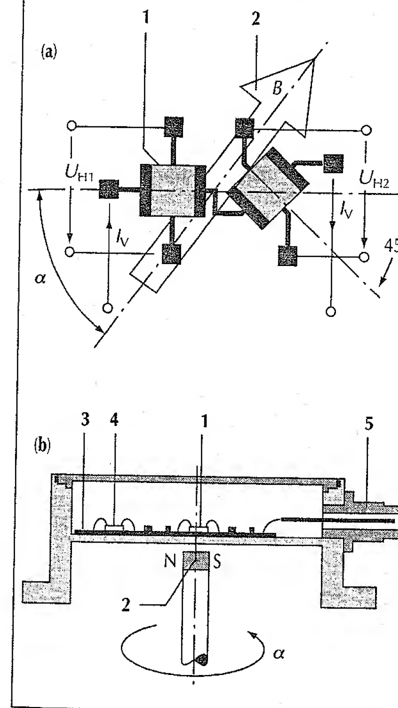
Sensores angulares magnetorresistivos en la versión "Pseudohall". Utilizan la alta fidelidad de la señal sinusoidal, que se capta en el borne de salida de una estructura de sensor quadripolar y planar. Mediante un segundo elemento, girado 45°, se produce adicionalmente una señal cosinusoidal. Con la relación entre las tensiones de las dos señales se puede determinar (p.ej. mediante utilización de la función arctangente) el ángulo α (p.ej. mediante microcontroladores o ASIC) con exactitud muy grande en un intervalo de 180°, ampliamente independiente de variaciones de temperaturas y de la intensidad del campo magnético (distancia, envejecimiento).

Para la medición de la distancia entre vehículos son idóneos los métodos de tiempo de propagación de ultrasonidos (alcance de 0,5 a 5 m), los de tiempo de propagación o de triangulación mediante luz en las proximidades del infrarrojo (Lidar; alcance medio hasta 50 m) y de radar electromagnético (alcance hasta 150 m).

Sensor angular magnetorresistivo (versión "Barberpol")
1 AMR, Elemento anisotrópico magnetorresistivo (Barberpol), 2 Imán permanente girable con inducción de mando B, 3 Línea característica para temperatura de marcha baja, 4 Línea característica para temperatura mayor de marcha. a Rango de medición lineal, b Rango de medición útil, α Ángulo de medición, U_A Tensión de medición, U_0 Tensión de alimentación.



Sensor angular magnetorresistivo (versión "Pseudohall")
(a) Principio de medición, (b) Estructura del sensor.
1 Capa delgada NiFe (sensor AMR), 2 Imán permanente girable con función de mando B, 3 Híbrido, 4 ASIC, 5 Conexión eléctrica. I_V Corriente de alimentación, U_{H1} y U_{H2} Tensiones de medición, α Ángulo de medición



Para ayudas de orientación y sistemas de navegación puede medirse la dirección geográfica, a que se encamina el vehículo, mediante sensores de campo magnético (sondas de núcleo de saturación) que miden el rumbo.

Sensores de revoluciones y de velocidad

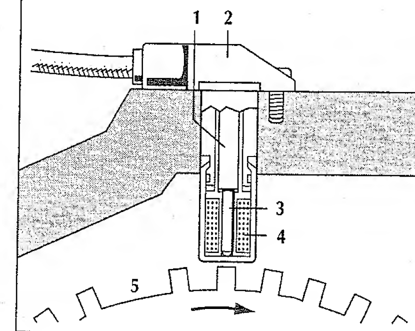
Estos sensores captan los incrementos de velocidad de ruedas dentadas que giran. Las magnitudes de medición son p.ej. las revoluciones a que gira el cigüeñal o su posición, las revoluciones del árbol de levas, las revoluciones de las ruedas (ABS/ASR), las revoluciones de la bomba de inyección diesel.

Aplicaciones nuevas:
- sensores de revoluciones integrados en cojinetes
- velocidad sobre suelo y
- giro del vehículo alrededor del eje vertical (regulación de la dinámica de conducción FDR)

Sensores inductivos

Los sensores inductivos constan de una barra magnética con clavija blanda magnética de polo que soporta la bobina de inducción con dos conexiones. Si delante del captador magnético gira una rueda dentada ferromagnética (o un rotor de estructura similar), entonces en la bobina se induce una tensión proporcional a la variación en el tiempo del flujo magnético. Un transcurso similar a la forma sinusoidal corresponde a una estructura uniforme del

Sensor de revoluciones inductivo
1 Imán permanente, 2 Bastidor, 3 Núcleo de hierro dulce, 4 Bobina, 5 Rueda dentada (hierro) con marca de referencia



dentado. La cantidad de revoluciones resulta de la distancia entre los pasos a través del cero de dicha tensión, pero también su amplitud es proporcional a la cantidad de revoluciones.

La amplitud de la señal depende mucho (exponencialmente) del entrehierro y del tamaño de los dientes. Los dientes se detectan perfectamente desde la mitad o de un tercio de la distancia entre dientes hasta el ancho del entrehierro. Con los piñones usuales de cigüeñales y de ABS los entrehierros son de 0,8 o 1,5 mm. La marca de referencia requerida para el encendido se obtiene por omisión de un diente o de una ranura entre dientes que se reconoce por la distancia más amplia del punto de anulación y que origina (como si correspondiera a un diente aparentemente mayor) una tensión de señal mucho mayor.

Sensores Hall, barreras Hall

Los sensores semiconductores aprovechan el efecto Hall (página 85) en forma de barreras Hall, p.ej. como sensores que accionan el encendido en el distribuidor de encendido (delco) (página 448). El sensor y los correspondientes circuitos electrónicos para la alimentación y la evaluación de las señales están integrados directamente en el chip sensor.

Este chip "Hall" (en técnica bipolar para temperaturas permanentes de 150 °C y conexión directa a la red de a bordo) se ubica dentro de un circuito magnético casi cerrado, que consta de imán permanente y piezas polares. El entrehierro aún existente recorre un rotor de diafragma magnético débil (accionado p.ej. por el árbol de levas). Un diafragma conducido cortocircuita el flujo magnético (es decir lo conduce al sensor) y un hueco del rotor de diafragma lo deja pasar sin impedimentos a través del sensor.

Sensores del futuro

Como cualidades adicionales de los sensores del futuro se quiere conseguir:
- captación estática (es decir sin revoluciones)
- mayores entrehierros,
- independencia de las variaciones del entrehierro y resistencia a temperaturas de hasta 200 °C.

Sensores de gradientes

Los sensores de gradiente (p.ej. basados en sensores diferenciales, Hall o diferenciales de placas de campo) poseen un imán permanente que mediante una delgada plaquita ferromagnética se homogeiniza la superficie polar de la rueda dentada. Encima están ubicados dos elementos galvanomagnéticos (designación genérica para sensores Hall y placas de campo), en la punta del sensor, a una distancia equivalente al medio paso del dentado. De esta forma un elemento queda frente a un hueco del dentado si el otro elemento está frente a un diente. El sensor mide la diferencia de la intensidad de campo en dos puntos estrechamente próximos en dirección de circunferencia; la señal de salida corresponde aproximadamente a la derivación de la intensidad de campo según el ángulo de circunferencia recorrido y es por tanto un índice que no tiene ninguna relación con el entrehierro.

Placas de campo. Según el efecto Gauss son resistencias semiconductoras bipolares, capaces de ser dirigidas magnéticamente y que tienen una estructura similar a la de los sensores Hall. Su resistencia depende en su campo de aplicación de aproximadamente el cuadrado de su intensidad de campo. Las dos resistencias de un sensor diferencial están conectadas eléctricamente como divisores de tensión y compensan gran parte de los cambios de temperatura. El alto efecto de medición hace innecesaria una electrónica de amplificación en el lugar de medición (señal de salida 0,1 a 1 V). Las placas de campo para aplicaciones en automóviles resisten temperaturas ≤ 170 °C (por breves momentos ≤ 200 °C).

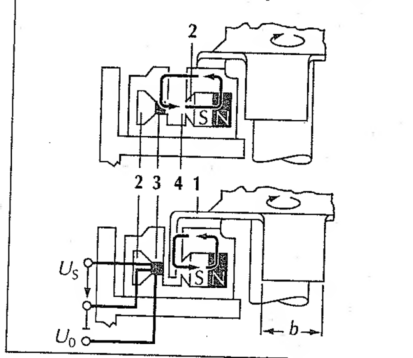
Sensores tangenciales

Contrariamente a lo que sucede con los sensores de gradientes, los tangenciales reaccionan con el signo y la intensidad de la componente del campo magnético tangencial al perímetro del rotor. Pueden hacerse con técnica AMR de capa fina como Barberpol o también como resistencias sencillas permalloy en conexión plena o de semipuente. Al contrario que los sensores de gradientes, no tienen que ser ajustados al correspondiente paso del dentado y pueden hacerse casi en forma de puntos. Requieren de la amplificación local previa, aunque su efecto de medición es una o dos veces mayor que el del sensor Hall de silicio.

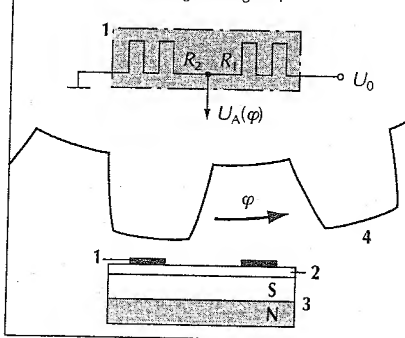
Girómetro de oscilación

Los girómetros de oscilación miden el valor absoluto de la velocidad de giro Ω en el eje vertical del vehículo (eje de guiñadas), p.ej. en sistemas para la regulación dinámica de la conducción (FDR, estabilización de procesos de derrapado) y navegación. En principio equivalen a un giroscopio mecánico y utilizan para la medición las aceleraciones de Coriolis que aparecen en los movimientos giratorios con oscilación.

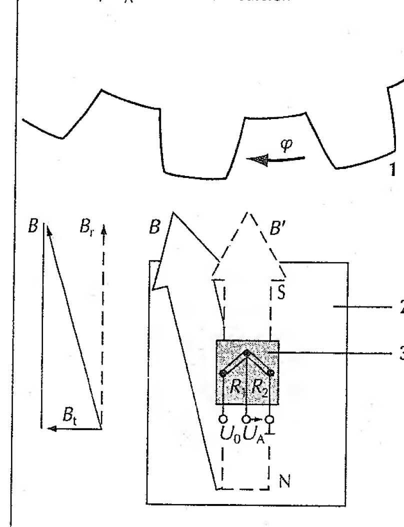
Barrera Hall (distribuidor de encendido)
1 Diafragma con ancho b, 2 Elementos de guía poco imantados, 3 Circuito integrado Hall, 4 Entrehierro. U_0 Tensión de alimentación, U_S Tensión de sensor



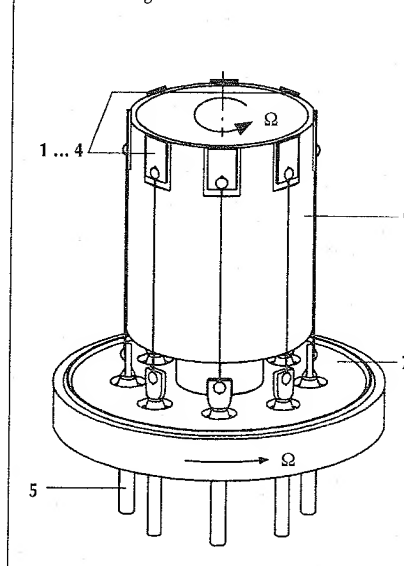
Sensor diferencial de placa de campo (radial)
1 Resistencia de la placa de campo R_1, R_2, 2 Substrato magnético blando, 3 Imán permanente, 4 Rueda dentada. U_0 Tensión de alimentación. $U_A(\varphi)$ Tensión de medición a ángulo de giro φ



Sensor AMR (tangencial)
1 Rueda dentada (Fe), 2 Imán permanente, 3 Sensor B Intensidad de campo de mando con componente tangencial B_t y componente radial B_r (B' posición de reposo, B_t = 0), R_1, R_2 Resistencias permalloy de capa fina (AMR), φ Ángulo de giro, U_0 Tensión de alimentación, U_A Tensión de medición



Sensor piezoeléctrico de velocidades de giro
Estructura
1 a 4 Pares de elementos piezo, 5 Pasadores de conexión, 6 Cilindro de oscilación, 7 Placa de base, Ω Velocidad de giro



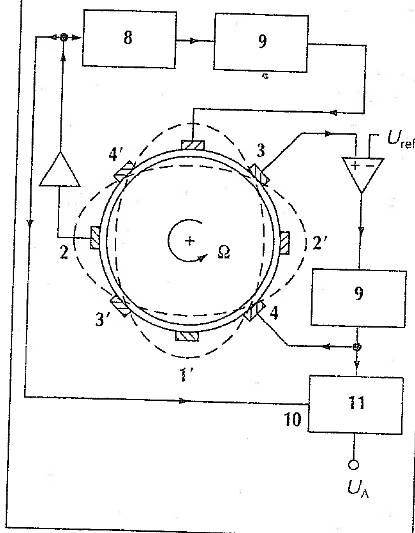
Sensores piezoeléctricos de la velocidad de giro

Un cilindro metálico hueco capaz de oscilar es excitado a una oscilación de resonancia con dos cerámicas piezo 1-1′ aplicadas diametralmente y regulado mediante otro par de cerámicas piezo 2-2′ a una amplitud de oscilación constante, que presenta cuatro nudos de oscilación en sentido axial (desplazados a 45° en la dirección de la excitación).

Al rotar a la velocidad Ω alrededor del eje del cilindro, los nudos se desplazan ligeramente en la circunferencia, de modo que en ellos, que normalmente están exentos de fuerzas, aparecen unas, que son proporcionales a las revoluciones, que se detectan con un tercer par de cerámicas piezo 3-3′. Sin embargo son regulados a un punto de referencia $U_{ref} = 0$ mediante un cuarto par 4-4′ en un bucle cerrado. La magnitud de ajuste necesaria para ello hace de señal de salida altamente exacta, después de ser filtrada meticulosamente por rectificación síncrona de fases. Con variación deseada transitoria del valor nominal a $U_{ref} \neq 0$ se comprueba fácilmente el sistema completo del sensor (test "built-in" o análisis incorporado).

El cambio de temperaturas de este sensor requiere un circuito de compensación complicado y el envejecimiento condicionado del material de los elementos cerámicos piezoeléctricos un esmerado envejecimiento previo.

Sensor piezoeléctrico de valor de giro
Principio de medición
1 a **4** *Elementos piezo,*
8 *Circuito de conexión (de fase rígida),*
9 *Filtro de pase de banda,*
10 *Referencia de fase,*
11 *Rectificador (selectivo de fase).*
U_A *Tensión de medición,*
Ω *Valor de giro,*
$U_{ref} = 0$ *(marcha normal),*
$U_{ref} \neq 0$ *(test "built-in").*



Sensores de la velocidad de giro micromecánicos de silicio. Por ser de costes reducidos y de construcción compacta (Gyro-on-the-chip), sustituirán a los sensores micromecánicos de hoy en día.

Sensores de radar

Para la medición de la "velocidad respecto al suelo" se están analizando sistemas de radar Doppler sencillos (de bajo coste).

Sensores de aceleración/vibración

Estos sensores se prestan para activar sistemas de protección de los pasajeros (airbag, tensores de cinturón de seguridad, refuerzos en volcamientos), para la regulación del picado en motores de combustión, y para la captación de aceleraciones en curvas y variaciones de velocidad en vehículos con ABS con tracción en las cuatro ruedas.

Ejemplos de valores típicos para turismos:

Aplicación	Campo
Regulación de picado	1 a 10 g
Protección de pasajeros	
Airbag, tensor de cinturón	50 g
Refuerzo de volcamientos	4 g
Bloqueo cinturón	0,4 g
ABS, regulación dinámica de conducción	0,8 a 1,2 g
Regulación de la suspensión	
Estructura	1 g
Eje	10 g

Sensor Hall de aceleración

Los vehículos con ABS y tracción en las cuatro ruedas, y también los más modernos con regulación dinámica de marcha poseen, además de los sensores de las ruedas, un sensor Hall de aceleración para la medición de las aceleraciones longitudinales y transversales del vehículo. La desviación del sistema de muelle-masa utilizado para ello se capta en un imán y un sensor Hall (campo de medición 1 g). El sensor está proyectado para un ancho reducido de banda (algunos Hz) y está amortiguado electrodinámicamente.

Sensores piezoeléctricos

Elementos de flexión piezoeléctricos bimorfos o de piezocerámica de dos capas son sensores para sistemas de retención para activar tensores de cinturón, airbags y protectores en volcamientos que se curvan fácilmente por su propia masa en las aceleraciones y que proporcionan una señal dinámica (no de tensión continua) bien de evaluar (frecuencia límite típica 10 Hz).

El elemento sensor está colocado, a veces protegido mecánicamente por un gel, en un alojamiento hermético, junto a un primer escalón de amplificación.

El principio de sensor puede invertirse también de forma actuadora. Se comprueba fácilmente con un electrodo actuador ("On-board-diagnosis").

Elementos longitudinales (sensores de picado).

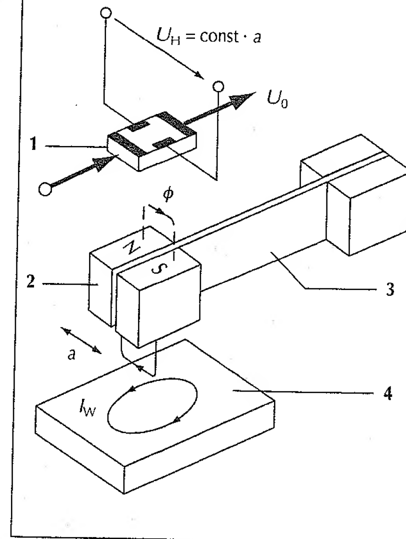
Los elementos longitudinales se utilizan como sensores de picado (sensores de aceleración) para sistemas de encendido con regulación del picado (página 475). Miden (con poca selección direccional) el sonido en el cuerpo del bloque del motor (campo de medición aprox. 10 g a frecuencia de vibración típica de 5 a 20 kHz). Un elemento anular no encapsulado de material piezocerámico mide las fuerzas de inercia que actúan de la misma forma sobre una masa sísmica.

Nuevos principios de sensores

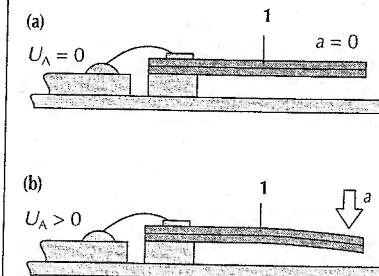
Sensores de aceleración capacitivo de silicio

En una primera generación de sensores micromecánicos el sistema requerido de masa-muelle fue obtenido mediante una

Sensor Hall de aceleración
1 *Sensor Hall*
2 *Imán permanente (masa sísmica)*
3 *Muelle*
4 *Placa de amortiguación (Cu)*
α *Aceleración,*
I_W *Corrientes de Foucault,*
U_H *Tensión Hall,*
U_0 *Tensión de alimentación,*
Φ *Flujo magnético*



Sensor piezoeléctrico
(a) *En reposo*
(b) *Con aceleración a*
1 *Elemento de flexión bimorfo piezocerámico*
U_A *Tensión de medición*



técnica de corrosión anisótropa y selectiva de todo el wafer (micromecánica de silicio en masa) y de adelgazamiento del alma del muelle.

Para la medición con muy pocos errores del desvío de esta masa han resultado muy apropiadas las derivaciones capacitivas. Éstas precisan de una placa de silicio o vidrio, con contraelectrodos y del espesor de un Wafer, por encima y otra por debajo de la masa-muelle formando así una estructura de tres capas. Las placas con los contraelectrodos hacen además de protección contra sobretensiones.

Un llenado de aire exactamente dosificado del sistema oscilante herméticamente cerrado hace que las oscilaciones sean muy pequeñas, pero eficaces y de costes reducidos y buenas características de respuesta a la temperatura. Las tres placas de silicio se unen hoy en día casi exclusivamente de forma directa mediante el método de unión por fusión ("fusion-bonding").

En la exactitud de la medición influyen también determinadamente, de modo casi lineal en el campo sensitivo, las diferentes dilataciones térmicas del montaje en la base del alojamiento.

Este tipo de sensores se utiliza principalmente en los campos inferiores de aceleración (≤ 2g) y requiere un concepto de chip triple (chip sensor + chip de evaluación CMOS + circuito bipolar de protección). Una inversión a una evaluación de señal ampliada origina un retroceso automático a la posición de cero de la masa sísmica y entrega la señal de ajuste como magnitud de salida.

En el campo de las aceleraciones altas (sistemas de protección de pasajeros) se utilizan ya sensores micromecánicos de superficie con dimensiones mucho más reducidas (longitud típica de arista aprox. 100 μm). El sistema de masa-muelle se construye sobre la superficie del Wafer de silicio con un procedimiento aditivo.

Contrariamente a los sensores de silicio en masa con capacidades de 10 a 20 pF, estos sensores sólo tienen una capacidad típica de 1 pF. Por ello la electrónica de evaluación está ubicada con el sensor en el mismo chip (mayoritariamente sistemas regulados en posición).

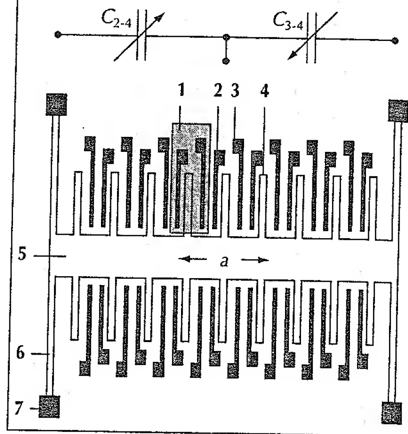
Sensores de presión

La medición de presión se efectúa directamente por deformación de una membrana o con un sensor de fuerzas. Ejemplos de aplicación:

- presión (o carga) en el tubo de aspiración (1 a 5 bar)
- presión de frenado (10 bar), frenos electroneumáticos,
- presión de muelles de aire (16 bar), vehículos con suspensión neumática

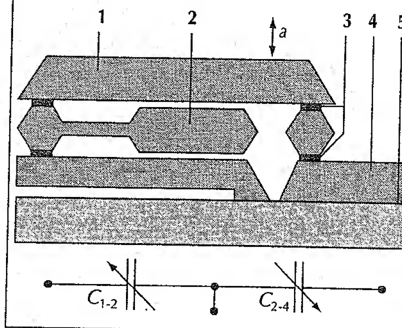
Sensor de aceleración micromecánico de superficie

1 *Célula elemental,* **2,3** *Placas fijas,* **4** *Placa móvil,* **5** *Masa sísmica,* **6** *Alma del muelle,* **7** *Anclaje. α Aceleración, C Capacidades de medición*



Sensor de aceleración de silicio en masa

1 *Placa superior de silicio,* **2** *Placa intermedia de silicio (masa sísmica),* **3** *Óxido de silicio,* **4** *Placa inferior de silicio,* **5** *Substrato de vidrio. a Aceleración, C Capacidades de medición*



- presión de los neumáticos (5 bar absolutos), control o regulación de la presión de los neumáticos,
- presión de depósito hidráulico (aprox. 200 bar), ABS, dirección asistida,
- presión de amortiguadores (+ 200 bar), regulación de la suspensión,
- presión del medio de refrigeración (35 bar), sistemas de aire acondicionado,
- presión de modulación (35 bar), cambio automático,
- presión de freno en el cilindro principal y los bombines de las ruedas (200 bar), compensación automática de desvíos, freno con mando electrónico,
- presión o vacío en el depósito de combustible (0,5 bar), "diagnóstico de a bordo",
- presión de la cámara de combustión (100 bar dinámico), detección de fallos de encendido y de picado
- presión en bomba de inyección diesel (1000 bar, dinámico), o de inyección electrónica diesel
- presión de sistema de diesel (1500 ó 1800 bar) y
- presión conducto común gasolina (100 bar).

Sensor de presión de capa gruesa

La mebrana de medición con sus resistencias de alargamiento (DMS), fabricada en capa gruesa, mide presiones absolutas hasta 20 bar con un factor K (variación relativa de la resistencia/alargamiento) de K = 12 a 15.

Con coeficientes apropiados de dilatación del substrato de cerámica y de la capa gruesa de cerámica, la membrana se curva, al enfriarse después del proceso de horneado, como una cúpula, dejando un hueco de aprox. 100 μm de altura ("burbuja") (diámetro de aprox. 3 a 5 mm). Después de colocadas las resistencias de alargamiento de capa gruesa, se cierra ésta herméticamente con un recubrimiento de cerámica de vidrio. El gas restante que queda dentro de la "burbuja" compensa parcialmente las variaciones de temperatura del sensor.

Los componentes para la amplificación y corrección de la señal están colocados, separados del medio de medición, en la proximidad inmediata al sensor sobre el mismo substrato.

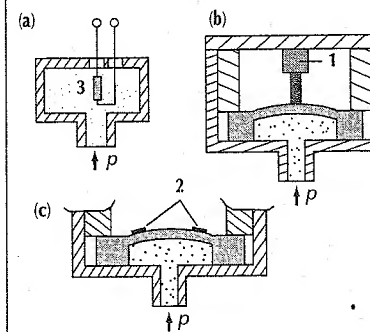
El principio del "sensor de burbuja" no se puede utilizar para presiones arbitrariamente altas o bajas que se hace con modelos que disponen de membranas planas de cerámica.

Sensores de presión semiconductores

La presión actúa sobre una membrana de silicio con resistencias sensibles a la presión, fabricados según los métodos de la micromecánica. El factor K de las resistencias introducidas por difusión en el silicio monocristalino es especialmente alto, típicamente K = 100. En los tipos hasta ahora usuales el sensor y el híbrido para la evaluación de las señales están juntos en un mismo bastidor. El ajuste y la compensa-

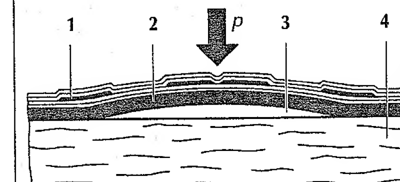
Medición de presión

(a) *Directa, resistencia (3) dependiente de la presión,* **(b)** *Mediante sensor de fuerza (1),* **(c)** *Por deformación de mebrana/DMS (2). p Presión*



Sensor de presión capa gruesa

1 *Puente de medición piezorresistivo,* **2** *Membrana de capa gruesa,* **3** *Cámara de presión de referencia ("burbuja"),* **4** *Substrato cerámico. p Presión*



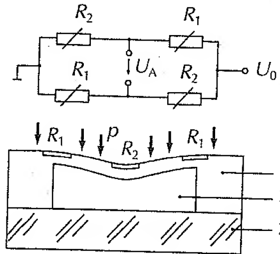
ción del sensor se efectúan de forma continua escalonada sobre un componente híbrido adicional (un segundo chip de silicio que sirve para la amplificación y la corrección de la señal) o sobre el mismo chip. En un futuro los valores, p.ej. para el punto cero y la corrección de pendiente, serán guardados en un PROM.

La forma extremadamente compacta de sensores integrados en un solo chip con ajuste electrónico completo, como sensores de carga para sistemas electrónicos de encendido e inyección, permite también el más favorable montaje directo en el tubo de aspiración (hasta ahora montado en el aparato de mando correspondiente o en el espacio del motor). Para ello a menudo se utiliza el método inverso de montaje, en el cual se origina la presión de medición en el lado electrónicamente pasivo del chip sensor, ahuecado en ese lado como una caverna. El lado notablemente más sensible del chip se encuentra con sus contactos en el vacío de referencia entre la base de alojamiento y la tapa soldada, estando protegido allí de forma óptima.

Este tipo de sensores en el futuro también se utilizará en los sistemas de control de la presión de los neumáticos. La medición se efectúa de forma continua y sin contacto (con trasnformación). Un chip sensor casi idéntico puede ser utilizado también como sensor de presión de la cámara de combustión. Se da por supuesto que el chip de silicio no está expuesto a las altas temperaturas (600 °C). Esto se efectúa con una mebrana metálica de separación y un punzón soldado de suficiente longitud (algunos mm). Montando micromecánicamente un escalón diminuto en el centro de la membrana, el sensor se transforma en sensor de fuerza. Las fuerzas de presión captadas por la membrana frontal pasan al chip sensor por el punzón y con muy poco error a través del escalón. El chip sensor está situado en una posición retraída y expuesto de este modo sólo a temperaturas de funcionamiento inferiores a 150 °C.

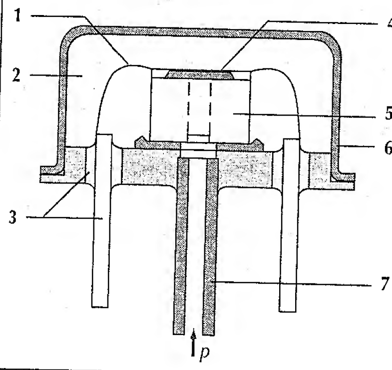
Sensor semiconductor de presión

1 Silicio, 2 Vacío, 3 Vidrio (Pyrex). p Presión, U_0 Tensión de alimentación, U_A Tensión de medición, R_1 Resistencias de medición de alargamiento (alargadas), R_2 Resistencias de medición de alargamiento (comprimidas) en conexión puente



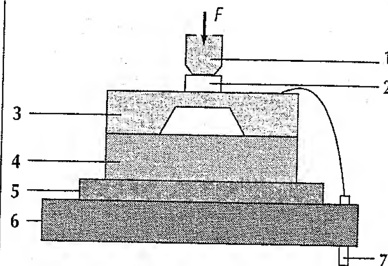
Sensor de silicio integrado para tubo de aspiración

1 Tomas unidas, 2 Vacío de referencia, 3 Conducto eléctrico encapsulado en vidrio, 4 Chip sensor, 5 Soporte de vidrio, 6 Tapa, 7 Toma de presión. p Presión



Sensor de silico integrado de presión para cámara de combustión

1 Punzón de transmisión, 2 Escalón de silicio (aporte de fuerza), 3 Sensor de silicio integrado de presión, 4 Pyrex, 5 Soporte intermedio de cerámica, 6 Placa de montaje de acero, 7 Pasadores de conexión. F Fuerza de presión en la cámara de combustión



Nuevos principios de sensores

Sensores piezoeléctricos

Los sensores piezoeléctricos miden la presión en forma dinámica. Para detectar el comienzo y el final del transporte en las bombas de inyección diesel electrónicas se detecta la presión sólo de forma dinámica. Para ello se conduce la presión con conexión directa o indirecta a través de la interconexión de una fina membrana de separación, sobre una partícula cilíndrica o cuadrada de piezocerámica. Debido a las aquí reducidas exigencias de exactitud, no tienen importancia las desviaciones por histéresis, ni temperaturas ni envejecimiento. Para evitar derivaciones eléctricas falsas se desacopla la señal, en la mayoría de los casos, mediante un amplificador con entrada de muchos ohmios integrado en el bastidor bien hermético.

Sensores de alta presión de membrana metálica

Para presiones muy altas, como las que hay que medir en el conducto común de alimentación de un sistema de inyección diesel para las mediciones de regulación, en vez del tubo de aspiración son mucho mejor las membranas de acero de resorte de alta calidad con detector DMS.

- Separan de forma sencilla y a costes reducidos el medio de medición.
- al contrario que el silicio aún tienen un campo de fluencia y son por lo tanto más seguras contra los reventones y
- se alojan y fijan sin problemas en recipientes metálicos.

Las capas finas DMS metalizadas al vacío (K = 2) y también las de silicio policristalino DMS (K = 40) ofrecen al sensor gran exactitud duradera. Se pueden agrupar en un solo ASIC elementos de refuerzo, ajuste y compensación, integrándose el conjunto con la protección necesaria contra EMV (comportamiento electromagnético) en un pequeño soporte en el alojamiento del sensor.

Sensores de fuerza/par

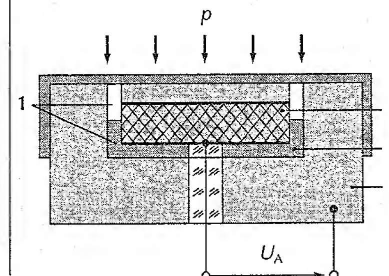
Aplicaciones: bulones de medición de cargas en tractores agrícolas para la regulación de la fuerza del arado.

Bulón de medición de carga magnetoelástico

El bulón de medición de carga trabaja según el principio magnetoelástico. El bulón hueco de acoplamiento lleva una bobina de excitación y otra de medición, girada 90°, sobre la cual no actúa ningún flujo magnético cuando no hay carga. Pero como el material ferromagnético del bulón se hace anisótropo por la acción de fuerzas, entonces un flujo parcial propor-

Sensor de presión piezoeléctrico

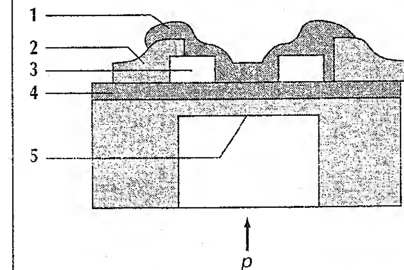
1 Metalizado, 2 Disco piezo, 3 Aislamiento, 4 Alojamiento. p Presión, U_A Tensión de medición



Sensor de alta presión de membrana metálica

(elemento de medición, pos. 1 a 4, fuertemente sobresaliente)

1 Pasivado con SiNx, 2 Contacto de oro, 3 DMS de silicio policristalino, 4 Aislamiento de SiO_2, 5 Membrana de acero. p Presión



cional a él llega a la bobina de medición e induce en ella una tensión eléctrica. La electrónica de alimentación y de amplificación, va también, integrada en un chip, dentro del bulón de carga.

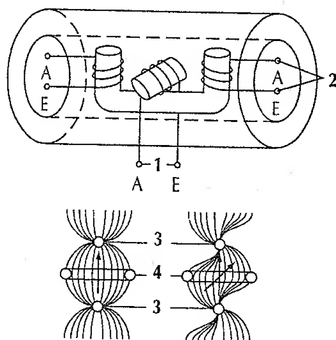
Nuevos principios de sensores

- Principio de corriente de Foucault: sensor de torsión de corrientes parásitas, muelles de medición de torsión axiales o radiales, disposición axial o radial de discos de ranura y bobinas,
- Medición con resistencias de estiraje (principio DMS): sensor de presión o de soldadura, elementos de presión,
- Anillos de medición de fuerzas en técnica de capa gruesa; medición de fuerzas con resistencias sensibles a la presión cargados ortogonalmente.
- Medición de la presión hidrostática en el cilindro relleno preferentemente de goma o caucho (para que no haya fugas) a través del pistón.
- Efecto microflexión: sensor de presión con fibra óptica.

Nuevas aplicaciones:

- Medición de la fuerza de acoplamiento en vehículos industriales entre tractor y remolque/trailer para la regulación del frenado sin fuerza.

Bulón de medición de cargas magnetoelástico
1 *Bobina primaria (alimentación),* **2** *Bobina secundaria (señal de medición),* **3** *Plano polar primario,* **4** *Plano polar secundario*



- Medición de la fuerza de amortiguación para la regulación electrónica de la suspensión.
- Medición de la carga en los ejes en vehículos industriales para la distribución de la fuerza de frenado con mando electrónico.
- Medición de la fuerza de pedal en sistemas de freno regulados electrónicamente.
- Medición de la fuerza de frenado en sistemas de frenos accionados eléctricamente y regulados electrónicamente.
- Medición sin contacto del par de accionamiento y de frenado.
- Medición sin contacto del par de dirección y de dirección asistida.
- Protección contra aprisionamientos en elevalunas y techos corredizos eléctricos.

Medidores de caudal

Magnitudes de caudal en el automóvil:

- Paso de carburante. El carburante realmente consumido por el motor, corresponde a la diferencia entre avance y retorno. En motores Otto con sistemas de medición con mando electrónico dirigido por aire ya se calcula previamente y se renuncia a ello como medida para la regulación de la combustión. Las mediciones del paso de carburante ya solamente son necesarias para el cálculo del consumo en motores sin mando electrónico.
- Paso de aire en la zona de aspiración o de carga del motor. Puesto que en el proceso químico de la combustión tienen importancia las relaciones de las masas, hay que medir la masa del aire succionado/cargado, aunque para ello en parte se utilizan métodos volumétricos o de presión de retención.

El flujo máximo de masa de aire a medir según la potencia del motor, está entre 400 y 1000 kg/h. Dada su pequeña cantidad necesaria al ralentí en los motores modernos, la relación entre requerimiento mínimo y máximo es de 1:90 a 1:100.

Medición del caudal

Por un tubo de sección transversal constante A circula un fluido de densidad general ρ igual en todas partes con una velocidad prácticamente igual en toda la sección (corriente "turbulenta"):

- paso de volumen $Q_V = v \cdot A$ y
- paso de masa $Q_M = v \cdot A$

Si para la medición del caudal se coloca en el conducto de la corriente una pantalla para estrechar el paso, de acuerdo con el principio de Bernouilli se produce una diferencia de presión Δp cuyo valor medio es proporcional al volumen y masa del caudal:

$$\Delta p = \text{const} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{const} \cdot Q_V \cdot Q_M$$

Con pantallas fijas se capta sólo un intervalo de variaciones de 1:10; con pantallas variables se captan relaciones de variación mucho mayores.

Medidores de paso de volumen

Según el principio de la vía de remolinos de Karmann después de un obstáculo en una corriente y corriente abajo, los remolinos se turnan a una distancia constante. Midiendo desde fuera los tiempos de la secuencia de remolinos (por medición de la presión o del sonido en la pared del tubo) resulta la frecuencia de remolino como relación de señal:

$$f = 1/T = \text{const} \cdot Q_V.$$

Desventaja: posibles errores de medición en corrientes pulsantes.

Mediante el método de medición de paso de volumen con ultrasonidos se mide el tiempo t que tarda un impulso sonoro en recorrer cierta distancia en un medio de propagación (p.ej. aire) bajo un ángulo de incidencia α (ver figuras) en el sentido de la corriente y luego la misma distancia l en sentido contrario. La diferencia de la duración del recorrido es proporcional al paso de volumen.

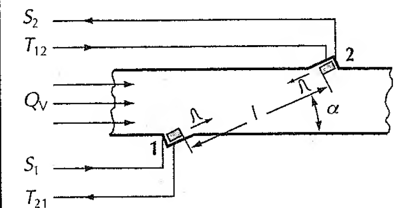
Medidores de paso de volumen con retención

Las válvulas móviles de retención forman una pantalla variable que modifica la sección transversal de la cual depende el caudal. Un potenciómetro detecta a la posición de la válvula para el caudal correspondiente. La dependencia logarítmica de la señal de salida del caudal (a caudales muy pequeños la variación de la tensión es notablemente más fuerte que a caudales grandes) resulta de la configuración mecánica y eléctrica del contador volumétrico de aire, p.ej. para el L-Jetronic (página 468). Otro contador volumétrico de aire para automóviles están diseñados para una característica lineal (KE-Jetronic). Pueden originarse errores de medición si la válvula, a causa de su inercia no puede seguir una corriente de aire pulsante rápida (situación de plena carga a altas revoluciones).

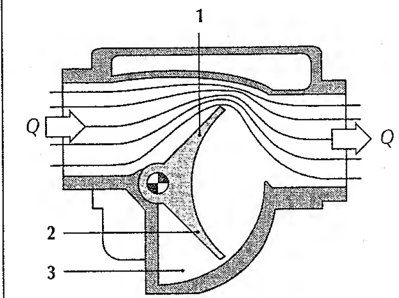
Medidor de paso de masa

Los medidores de paso de masa trabajan según el principio de alambre calórico o de lámina caliente, sin piezas mecánicas en movimiento. La conexión de regulación en el alojamiento del sensor mantiene a un alambre fino de platino (o una resistencia de platino de capa fina o gruesa) a una temperatura constantemente superior a la del aire. La corriente de calefacción constituye una medida muy exacta, aunque no lineal, del caudal de masa de aire. Linealización y demás pasos para la evaluación de la señal las lleva a cabo la mayoría de las veces el correspondiente dispositivo de mando. Los medidores de caudal de este tipo pueden seguir, en razón de la regulación, incluso

Medición de paso de volumen mediante ultrasonidos
1 *Emisor/receptor 1,* **2** *Emisor/receptor 2*
l Recorrido de medición, S Orden de emisión, t Tiempo de funcionamiento, Q_V *Paso de volumen,* α *Ángulo de inclinación*



Medidor de paso de volumen con retención
1 *Válvula de retención,* **2** *Trampilla de compensación,* **3** *Volumen de amortiguación. Q Caudal*



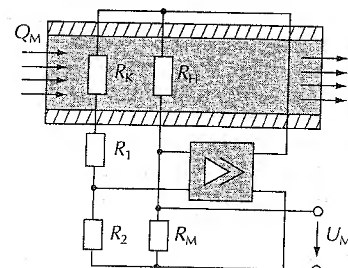
variaciones rápidas de caudal en el campo de los milisegundos. Pero no reconocen el sentido del flujo y a veces evidencian desviaciones notables en el caso de pulsaciones del tubo de aspiración.

El alambre de platino del medidor de paso de masa de aire de alambre caliente es tanto elemento de calefacción como sensor de temperatura del elemento de calefacción. Para que el alambre caliente mantenga sus propiedades medidoras, después de cada fase de trabajo (de la desconexión del encendido) se deben eliminar por incandescencia (aproximadamente a 1000 °C) todas las impurezas depositadas en su superficie.

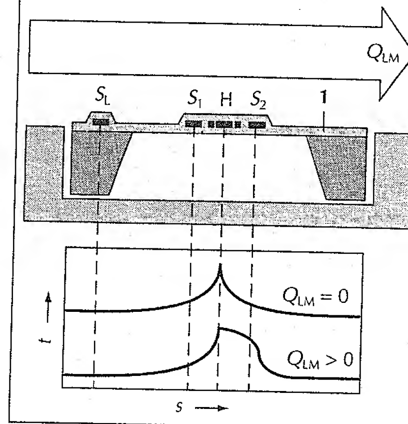
El medidor de paso de masa de aire de lámina caliente reúne todos los instrumentos de medición en un solo substrato. En el modelo actual la resistencia de calefacción se encuentra en la parte trasera de la plaquita y el sensor de temperatura correspondiente en la parte delantera. Así aparecen efectos de retraso mayores en comparación con el sensor de alambre caliente. El sensor de compensación de temperatura (R_K) y el elemento calefactor están desacoplados térmicamente mediante un corte de rayo láser en el substrato cerámico. La incandescencia de limpieza necesaria en el alambre caliente puede suprimirse aquí gracias a las mejores condiciones de las corrientes.

Los medidores de caudal de masas de aire micromecánicos de lámina caliente, de dimensiones mínimas, también trabajan según el principio térmico. Las resistencias de calefacción y de medición están metalizadas al vacío en forma de una delgada capa de platino sobre un chip de silicio como portador. El chip de silicio está alojado en un sector del soporte adelgazado micromecánicamente (de forma parecida a la membrana de un sensor de presión) para desacoplarlo térmicamente de su sujeción en el sector de la resistencia de calefacción H. La resistencia de calefacción H está regulada a sobretemperatura constante mediante el sensor de temperatura de calefacción S_H próximo a ella y el sensor de temperatura del aire S_L (en el borde grueso del chip de silicio). Al contrario que en las técnicas anteriores, la corriente de calefacción no se utiliza ya como señal de salida, sino que se utiliza la diferencia de temperatura medida por los sensores de temperatura S_1 y S_2 en el medio de medición (aire). En el sentido de la corriente hay un sensor de temperatura delante de la resistencia de calefacción H y otro detrás. En contra de lo que sucede con la corriente de calefacción, esta magnitud de salida reproduce el paso de caudal con el signo correcto, aunque (como en los procedimientos anteriores) la respuesta sigue siendo no lineal.

Medidor de caudal de masa de aire de alambre caliente
Q_M Caudal de masa, U_M Tensión de medición, R_H Resistencia de alambre caliente, R_K Resistencia de alambre de compensación, R_M Resistencia de medición, R_1 y R_2 Resistencias de ajuste



Medidor de caudal de aire micromecánico de lámina caliente
1 Membrana dieléctrica, H Resistencia de calefacción, S_H Sensor de temperatura de calefacción, S_L Sensores de temperatura de aire, S_1 S_2 Sensores de temperatura (corriente arriba y abajo), Q_{LM} Corriente de masa de aire, s Lugar de medición, t Temperatura



Sensor de concentración de oxígeno
(Sonda Lambda)
Mediante el valor residual de oxígeno en los gases de escape medido por la sonda Lambda, el sistema medidor de la cantidad de carburante regula de forma muy precisa la mezcla aire/carburante hacia el valor λ (Lambda) = 1 (combustión estequiométrica, pág. 434).

El electrolito de cuerpo sólido de cerámica ZrO utilizado para esto conserva la conductividad eléctrica a temperaturas mayores, de manera que se produce en las conexiones de la sonda una tensión galvánica característica del contenido de oxígeno. Justamente para λ = 1 es como mejor varía.

Las sondas que se calientan con electricidad son especialmente aptas para mediciones en campos débiles y ya son efectivas en la fase de calentamiento.

En el futuro también se utilizarán "sondas de plaquita" más pequeñas y planas así como también sondas cuyas curvas características quedan ampliamente en el campo débil de los motores diesel.

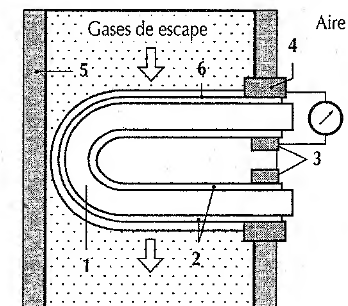
Sensores de temperatura
La medición de temperaturas en el vehículo utiliza casi exclusivamente la dependencia de la temperatura de materiales de resistencia eléctrica con coeficientes de temperatura positivos (PTC) o negativos (NTC). La transformación de la variación de resistencia en tensión analógica para un divisor de tensiones, casi siempre se efectúa con la adición una resistencia neutral a la temperatura o dependiente de ellas de forma contraria (también incrementa la linealidad).
En el vehículo se producen las siguientes temperaturas:

Punto de medición	Intervalo °C
Aire de aspiración/carga	–40 a 170
Ambiente exterior	–40 a 60
Interior	–20 a 80
Aire de expulsión/calefacción	–20 a 60
Vaporizador (aire acondicionado)	–10 a 50
Líquido refrigerante	–40 a 130
Aceite de motor	–40 a 170
Batería	–40 a 100
Carburante	–40 a 120
Aire en los neumáticos	–40 a 120
Gases de escape	100 a 1000
Asiento de freno	–40 a 2000

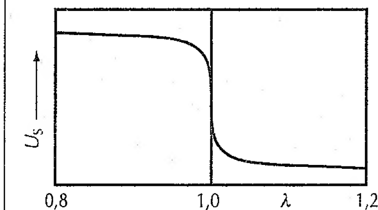
En muchos sitios se mide la temperatura como valor auxiliar para compensar el error por su causa o influencia.

Resistencias de cerámica sinterizada
Las resistencias de cerámica sinterizada (conductores de calor, termistores) de óxidos de metales pesados y de cristales mixtos oxidados (sinterizados en forma de

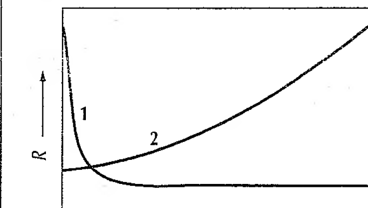
Sonda Lambda en el tubo de escape
1 Cerámica de la sonda, 2 Electrodos, 3 Contacto, 4 Contacto con el bastidor, 5 Tubo de escape, 6 Capa protectora de cerámica (porosa)



Curva característica de la sonda Lambda
λ Valor aire, U_S Tensión de sonda



Sensores de temperatura (ejemplos)
1 Resistencia NTC, 2 Resistencia PTC
t Temperatura, R Resistencia



perlas o de discos) se encuentran entre los materiales semiconductores con línea característica descendente de temperatura. La fuerte dependencia de la temperatura sólo permite que se empleen a través de una "ventana" de unos 200 K; este margen se puede elegir, sin embargo en el campo de 40 °C a aprox. 850 °C.

Resistencias de metal de capa fina (PTC)

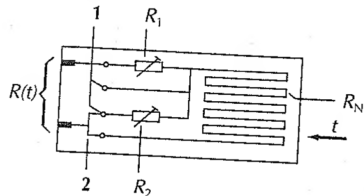
Las resistencias de metal de capa fina evidencian una exactitud especialmente alta, al estar integradas en una plaquita de substrato común junto a dos resistencias adicionales de ajuste neutrales a la temperatura, puesto que se fabrican con curvas características con muy pocas tolerancias y son estables mucho tiempo y se conforman además con cortes de rayo láser. La técnica de capas utilizada permite adaptar el material portador (cerámica, vidrio, láminas de plástico) y las capas de recubrimiento (de plástico o de laca, soldadura de láminas, recubrimiento de vidrio y cerámica) a la correspondiente aplicación y proporcionar así protección contra el medio que se mide. En comparación con los sensores semiconductores de cerámica oxidada las capas metálicas evidencian una menor dependencia a la temperatura, y una característica más idónea referente a linealidad y reproducibilidad:

Material sensor	Coeficiente de temperatura TK	Campo de medición
Ni	$5{,}1 \cdot 10^{-3}/K$	–60 a 320 °C
Cu	$4{,}1 \cdot 10^{-3}/K$	–50 a 200 °C
Pt	$3{,}5 \cdot 10^{-3}/K$	–220 a 850 °C

a $TK = [R(100\ °C) - R(0\ °C)]/[R(0\ °C) \cdot 100\ K]$

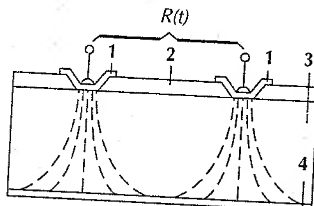
Resistencia de temperatura de película metálica

1 *Contactos auxiliares,* 2 *Puente.* R_{Ni} *Resistencia de capa de níquel,* $R(t)$ *Resistencia referida a temperatura* t, R_1 R_2 *Resistencias de ajuste independientes de la temperatura*



Resistencia semiconductora de silicio (principio Spreading-Resistance)

1 *Contactos,* 2 *Pasivado (nitrito, oxidación),* 3 *Substrato de silicio,* 4 *Contraelectrodo sin conexión.* $R(t)$ *Resistencia dependiente de la temperatura*



Resistencias de capa gruesa (PTC/NTC)

Pastas de capa gruesa con resistencia específica mayor (necesidad de menor superficie) así como también con coeficientes de temperatura positivos y negativos sirven principalmente como sensores de temperatura para fines de compensación. Poseen una característica no lineal (pero no tan curvada como la de las resistencias masivas NTC) y se conforman con rayo láser. Con material NTC y PTC se pueden hacer circuitos divisores de tensión para elevar el efecto de la medición.

Resistencias semiconductoras de silicio monocristalino (PTC)

En los sensores de temperatura de materiales semiconductores monocristalinos como silicio, por sistema, se pueden integrar elementos de conexión adicionales pasivos y activos (posibilidad de una primera preparación de la señal en el lugar de medición).

Su fabricación se efectúa según el principio de la "Spreading-Resistance". La corriente fluye a través de la resistencia de medición por un contacto de punta superficial en la masa del material del silicio y allí se ensancha y va a un contraelectrodo que cubre la base del chip sensor. La alta densidad de corriente detrás del punto de contacto (alta exactitud por fabricación fotolitográfica) determina, junto a la buena reproductibilidad de las constantes del material, el valor de la resistencia del sensor.

La sensibilidad de medición es aproximadamente el doble que la de una resistencia de platino ($TK = 7{,}73 \cdot 10^{-3}/K$). La curva característica de la temperatura es más arqueada que la de un sensor metálico.

Sensores para otras funciones de medición

Sensor de suciedad

El sensor reconoce el grado de suciedad del cristal de dispersión de los faros y activa su limpieza automática.

La barrera de reflexión de luz del sensor consta de una fuente de luz (LED) y de un receptor de luz (fototransistor). Está colocada en la parte interna del cristal de dispersión detrás de la zona de limpieza, pero fuera del haz de luz directa del faro. Con el cristal limpio o con gotas de lluvia, la luz de medición en el intervalo infrarrojo sale al exterior sin impedimentos y solo una cantidad despreciable se refleja hacia el interior. Pero si la luz de medición incide en impurezas de la superficie exterior del cristal, entonces se dispersa hacia atrás, hacia el receptor, de forma proporcional al grado de suciedad y, a partir de cierto grado, pone en marcha automáticamente la instalación de limpieza.

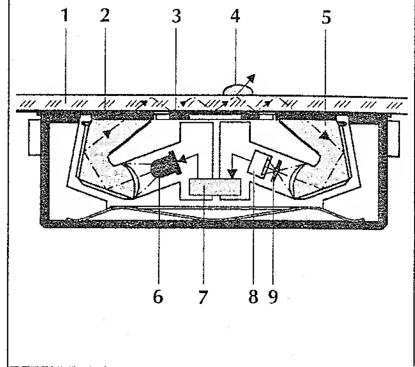
Sensor de lluvia

Un sensor de lluvia reconoce gotas de lluvia en el parabrisas y pone en funcionamiento el limpiaparabrisas. El conductor se libera de las manipulaciones que hay que hacer con los limpiaparabrisas convencionales y puede concentrarse más en la conducción. Al arrancar el vehículo, el limpiaparabrisas queda en posición normal. Si el conductor desea que su funcionamiento sea automático, lo tiene que activar.

El sensor consiste en un emisor-receptor óptico (parecido al sensor de suciedad). Cuando el parabrisas está seco, la luz emitida que incide en él bajo cierto ángulo, se refleja en la superficie exterior (reflexión total) y vuelve al receptor también según su ángulo. Pero si en la superficie exterior hay gotas de agua, la mayor parte de la luz se reflecta hacia fuera y se debilita la señal de recepción. A partir de cierto grado el limpiaparabrisas también se conecta automáticamente en caso de suciedad.

Sensor de lluvia

1 *Parabrisas,* 2 *Acoplamiento óptico,* 3 *Calefacción,* 4 *Gotas de lluvia,* 5 *Conductor de luz,* 6 *LED,* 7 *Electrónica,* 8 *Fotodiodo,* 9 *Pantalla*



Misiones de medición del futuro

- sonda del campo terrestre (navegación)
- sensor de humedad (supervisión de instalaciones neumáticas de frenos, aviso de peligro de hielo en la calzada, clima en el habitáculo de pasajeros),
- sensor de monóxido de carbono (atmósfera en el habitáculo de pasajeros)
- "Fuel-Flex-Sensor" (reconocimiento de carburante),
- sensores de revoluciones integrados en cojinetes para ABS/ASR y Motronic,
- sensores de altas presiones para sistemas de inyección diesel de conducto común,
- sensor de pedal de freno para sistemas de frenado regulados electrónicamente.

Actuadores

Magnitudes y unidades

Magnitud		Unidad
A	Superficie polar/pistón	mm²
B	Inducción magnética	T
F	Fuerza	N
I	Intensidad de corriente	A
l	Longitud del conductor en el campo	mm
M	Par de giro	N · m
p	Presión	Pa
Q	Caudal	l/min
Q_{calor}	Corriente térmica	W
s	Recorrido, recorrido de pistón	mm
V	Volumen	mm³
V_{th}	Volumen desplazado por cada revolución	mm³
α	Ángulo entre dirección de la corriente y líneas de fuerza magnética	°
δ	Longitud entrehierro	mm
μ_0	Constante de permeabilidad	
φ	Ángulo de giro	°

Los actuadores son los elementos de acoplamiento entre el procesamiento eléctrico de la señal (procesamiento de la información) y el proceso (la mecánica). Transforman las señales de poca energía portantes de la información del lugar de medición, en la forma de energía requerida para intervenir en el proceso mediante señales con carga. Los transductores (transformadores) de señal, combinados con elementos de amplificación, aprovechan los principios de transformación de la física entre varias formas de energía (eléctrica – mecánica – de fluidos – térmica).

Regulador: elemento con entrada de señal electrónica, entrada de energía auxiliar y salida de energía.

Elemento de ajuste: como un regulador, pero la señal de mando también puede ser no eléctrica. Regulador + elemento de ajuste = dispositivo de ajuste.

Transductor: elemento sin entrada de señales de mando, sólo con alimentación y salida de energía.

Actuador: cadena de reguladores y transductores. En general se llama también actuador a un elemento de ajuste transductor suelto.

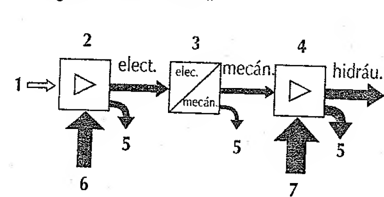
Actuadores electromecánicos

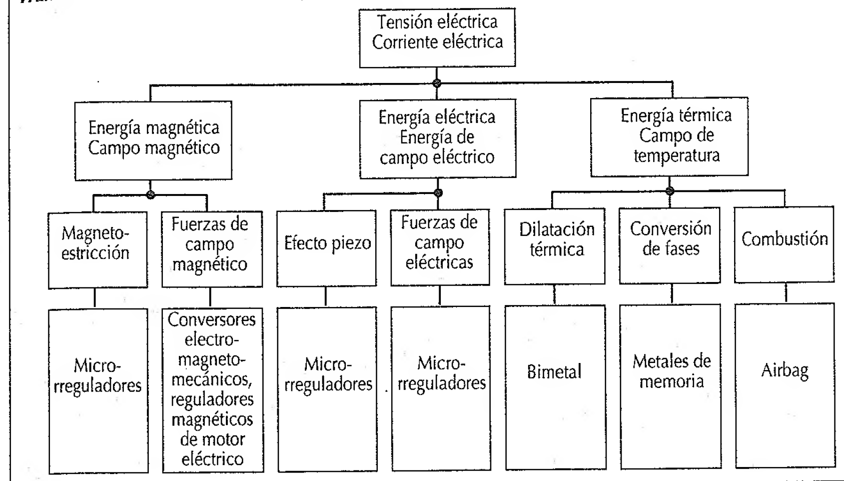
Los actuadores electromecánicos se pueden clasificar según el tipo de transformación de energía. Tal como se representa, la energía de una fuente se transforma en energía magnética o eléctrica de campo o calórica. De estas formas de energía resultan diferentes principios de la obtención de fuerza, los cuales se basan o en las fuerzas de campo o en determinadas cualidades magnéticas. Los materiales magnetoestrictivos le abren a los actuadores campos de aplicación en el sector de los microrreguladores. A este grupo también pertenecen los actuadores piezoeléctricos. Los actuadores térmicos aprovechan directamente las propiedades de algunos materiales.

En el vehículo los actuadores son casi siempre transductores electro-magneto-mecánicos y derivados de ellos como los servomotores eléctricos (pág. 130) y también los reguladores magnéticos traslatorios rotatorios. Una excepción la forma p.ej. el sistema pirotécnico del airbag (pág. 753). Los reguladores magnéticos son en sí mismos órganos de ajuste o sirven como elemento de accionamiento de un amplificador conectado posteriormente (p.ej. mecánico o de fluidos).

Obtención de fuerza en el campo magnético

El principio del actuador electrodinámico se diferencia del electromagnético en el modo de obtención de fuerza en el campo magnético. Para ambos es común un circuito magnético de material magnético blando y su bobina para la excitación del campo magnético. Una diferencia fundamental entre los dos principios reside en la

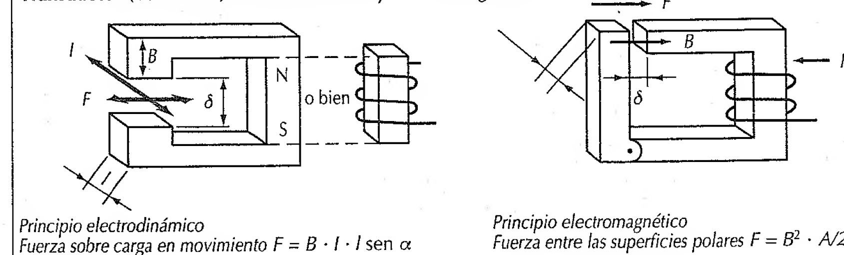

Cadena de actuadores
1 Información, 2 Regulador, 3 Transductor, 4 Elemento de ajuste, 5 Pérdidas, 6 Energía eléctrica externa, 7 Energía hidráulica externa


Transductores electromecánicos (Sistemática)

acción de la fuerza alcanzable según las condiciones técnicas realizables. En iguales condiciones, por el principio electromagnético es cuarenta veces mayor. La constante de tiempo eléctrica de estos reguladores está en el orden de magnitud de la constante de tiempo mecánica. Ambos principios de obtención de fuerza se utilizan en mecanismos de movimiento recto y de rotación.

Principio electrodinámico
El principio electrodinámico se basa en la fuerza sobre cargas en movimiento o sobre conductores a través de los cuales pasa una corriente eléctrica en el campo magnético (fuerza de Lorentz). Una bobina de excitación o un imán permanente producen un campo uniforme. La energía eléctrica a ser transformada es aportada a través de la bobina del inducido (bobina móvil), que gracias a poca masa e inductividad pequeña, facilita una alta dinámica de regulación. Los dos acumuladores de energía (uno en la parte fija y otro en la parte móvil) por inversión de corriente en la bobina del inducido o en la de excitación dos sentidos activos de fuerza. Los imanes permanentes (ferrita, SnCO, etc), que normalmente producen el campo de excitación, poseen una permeabilidad que se aproxima mucho a la del vacío (μ_0).

El campo secundario, provocado por la corriente inducida, transcurre por ello dentro de un circuito magnético abierto. Así se disminuye la influencia de la saturación. En actuadores electrodinámicos, en primera aproximación, la fuerza (par de giro), dentro del margen de ajuste, es proporcional a la corriente e independiente del recorrido.


Transductor (conversor) electrodinámico y electromagnético

Principio electrodinámico
Fuerza sobre carga en movimiento $F = B \cdot I \cdot l \operatorname{sen} \alpha$

Principio electromagnético
Fuerza entre las superficies polares $F = B^2 \cdot A/2\mu_0$

Principio electromagnético

El principio electromagnético utiliza la fuerza de atracción entre elementos de hierro dulce bajo la influencia del campo magnético. El regulador electromagnético sólo tiene una bobina, la cual proporciona tanto la energía de campo como la energía a ser transformada. De acuerdo con los principios de operación, una bobina de excitación lleva un núcleo de hierro, a causa de lo cual tiene mayor inductividad. De la dependencia cuadrática de la densidad de flujo magnético resulta sólo una dirección activa. Por ello el regulador electromagnético requiere de un elemento de retroceso (p.ej. un muelle mecánico o un dispositivo de retroceso magnético).

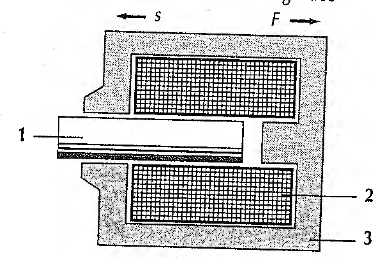
Dinámica

La dinámica de un actuador electromecánico, es decir los procesos de conexión y de desconexión, se describe por la ecuación del movimiento mecánico, la ecuación diferencial del circuito eléctrico y las ecuaciones de Maxwell de la dinámica. La fuerza dependiente de la corriente y de la posición resulta de las ecuaciones de Maxwell.

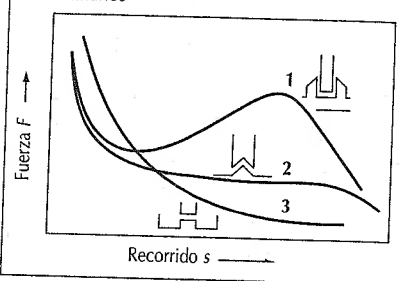
El circuito eléctrico consta, en su forma más sencilla, de una inductividad con una resistencia óhmica. Una medida para aumentar la respuesta dinámica es provocar una sobreexcitación en el momento de la conexión. El proceso de desconexión puede ser acelerado p.ej. con un diodo Z. El incremento de la respuesta dinámica del circuito eléctrico significa siempre un gasto adicional y un aumento de las pérdidas en la electrónica de aproximación del actuador.

Un efecto difícilmente influenciable de desacelaración en actuadores altamente dinámicos es la difusión de campo. En procesos de conexión rápidos, y a causa de la velocidad alta de cambio del campo, son inducidas, en el material magnético blando del circuito magnético de un actor, unas corrientes de Foucault, que contrarrestan a su causa (formación y eliminación del campo). El retraso en el aumento o en la reducción de fuerza producidos con ello sólo puede ser reducido seleccionando un material con conductividad y permeabilidad eléctrica reducidas.

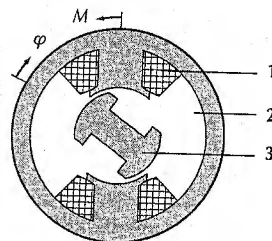
Imán de conexión
1 Inducido, 2 Bobina, 3 Retroceso magnético



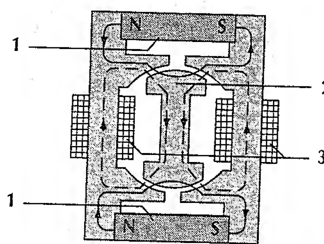
Imán de conexión (*curvas características*)
1 Inducido de inmersión, 2 Inducido cónico, 3 Inducido cilíndrico



Regulador giratorio electromagnético de bobinado simple
1 Bobina, 2 Estator, 3 Inducido



Par de giro
1 Imanes, 2 Inducido, 3 Bobinas de mando



Construcción

Su forma depende principalmente de las condiciones de trabajo (es decir, el espacio previsto para su funcionamiento, la curva característica fuerza/recorrido y la dinámica que hagan falta).

Actuadores electromagnéticos

La construcción típica de los actuadores electromagnéticos traslatorios es el imán de conexión con una línea característica de fuerza/recorrido que decrece cuadráticamente durante el recorrido de regulación. El transcurso de la curva característica viene determinado por la forma del entrehierro de trabajo (p.ej. inducido cónico o de inmersión).

Actuadores electromagnéticos rotatorios poseen una posición definida de los polos en el estator y en el rotor. Bajo aplicación de corriente a los polos del estator y del rotor se atraen mutuamente y se forma un par de giro.

El regulador giratorio de bobinado simple posee un par de polos en ambas partes principales y una bobina en el estator. Su campo máximo de regulación es de 45°.

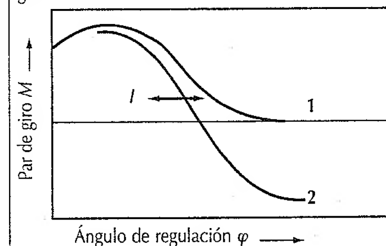
El par de giro es un regulador giratorio electromagnético bidireccional, con punto de trabajo estable y sin fuerza contraria. El campo de excitación de los imanes permanentes en el estator mantiene al rotor en una situación estable. El campo magnético de una o dos bobinas del estator compensa unilateralmente el campo de excitación y produce un par de giro. Esta configuración es apropiada para regulaciones que requieren un fuerte par de giro en ángulos pequeños de regulación. Este par de giro es aproximadamente proporcional en forma lineal a la intensidad de la corriente. El principio del par de giro también encuentra aplicación en actuadores traslatorios.

Actuadores electrodinámicos

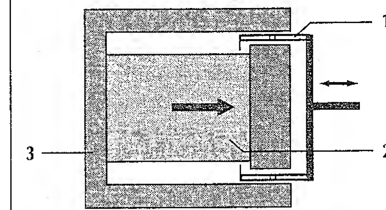
El electroimán de alzada (regulador de la bobina móvil) opera cuando una bobina cilíndrica (la bobina de inducido) se mueve en un entrehierro. El margen de regulación es limitado por la longitud axial de la bobina de inducido y el entrehierro.

El motor lineal de carrera corta es un modelo de regulador con bobina plana de forma aproximadamente circular.

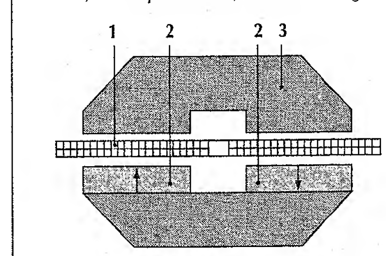
Reguladores giratorios electromagnéticos (*curvas características*)
1 Reguladores giratorios de bobinado simple, 2 Par de giro



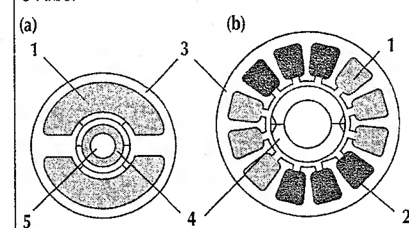
Regulador electrodinámico de bobina de móvil
1 Bobina móvil, 2 Imán permanente, 3 Retroceso magnético



Motor lineal electromagnético de carrera corta
1 Bobina, 2 Imán permanente, 3 Retroceso magnético



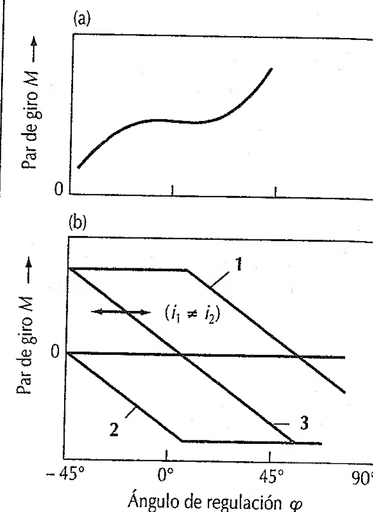
Regulador giratorio electrodinámico
(a) Regulador giratorio de bobinado simple, (b) Regulador giratorio de bobinado doble
1 Bobina 1, 2 Bobina 2, 3 Estator, 4 Imán permanente, 5 Árbol



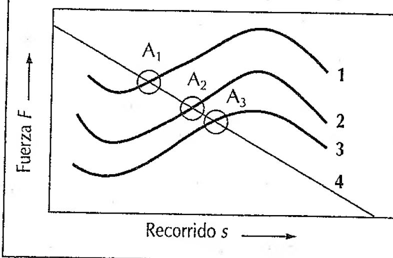
En los reguladores rotativos se distingue entre los de bobinado simple y los de bobinado doble.
Ambos modelos llevan un imán permanente en el rotor y uno o dos bobinados de estator. El imán rotor imanado a dos polos produce una densidad de flujo magnético en el entrehierro de trabajo del imán rotativo. Esta densidad de flujo junto con la corriente del inducido genera un par de giro. El campo de regulación es menor que ± 45°, partiendo de la posición indicada. El campo de regulación del regulador rotativo de bobinado simple depende además del tamaño del par de giro requerido y del ángulo, en el cual se pueda disponer de la densidad de flujo requerida.
El regulador rotativo de bobinado doble puede entenderse como la superposición de dos reguladores de bobinado simple desplazados 90° a lo largo de la circunferencia y que producen un par de giro contrario. En el punto de anulación de la curva de par de giro resultante se origina un punto de trabajo estable sin ninguna fuerza contraria.

Aplicaciones
Los actuadores electromecánicos son reguladores directos que transforman la energía eléctrica de una señal de mando en una magnitud mecánica de ajuste o de trabajo, sin transformación de movimientos con engranajes. Aplicaciones típicas son la regulación de válvulas, correderas, compuertas. Los actuadores descritos son elementos de ajuste sin retroceso interno, es decir sin punto estable de trabajo. Considerando una carga (p.ej. un muelle de retroceso y el mando eléctrico) se tornan en accionamiento de posicionamiento con punto de trabajo estable.
En el imán de un inducido de inmersión se genera un punto de trabajo estable y estático por la superposición de su curva característica de fuerza/recorrido con la característica de un muelle de retroceso. La variación de la corriente de la bobina en el imán desplaza el punto de trabajo. Un posicionamiento sencillo se obtiene mediante un mando de la corriente. Sin embargo, debe tenerse en cuenta en este caso la no linealidad de la característica de fuerza/corriente y la sensibilidad del sistema de ajuste a fuerzas de interferencia (p.ej. roce mecánico, fuerzas neumáticas e hidráulicas). La dependencia de la resistencia de la bobina a la temperatura lleva a errores de posicionamiento, que se evitan mediante la regulación de la corriente. Un sistema de ajuste de mucha exactitud y dinámico requiere un sensor para la medición de la posición y un regulador.

Reguladores giratorios electrodinámicos (curva característica)
(a) *Reguladores rotatorios de bobinado simple,* (b) *Reguladores rotatorios de bobinado doble*
1 *Bobina 1,* 2 *Bobina 2,* 3 *Bobinas 1 y 2*



Puntos de trabajo (A) de un imán de alzada
1, 2, 3 *Curvas características a diferentes corrientes,*
4 *Curva característica de un muelle de retroceso*



	Reguladores hidráulicos	Reguladores neumáticos
Medio	– Líquido, generalmente aceite – Posición de disposición de depósito, cárter – Prácticam. incomprimible – Autolubricante – Viscosidad muy dependiente de la temperatura	– Gas, generalmente aire – Desde el aire circundante – Comprimible – Engrase auxiliar necesario – Variaciones de viscosidad prácticam. sin importancia
Campo presiones	– hasta aprox. 30 Mpa	– Hasta aprox. 1 Mpa (o mayor aprox. 0,05 Mpa en reguladores de vacío)
Conexiones de conducciones	– Alimentación y retorno y en ocasiones de fugas	– Sólo conexión de presión, retorno directo al entorno
Aplicaciones	– misiones de regulación con alta tenacidad de carga, altos requerim. a comportamiento uniforme de marcha y exactitud de posicionamiento en circuito de regulación cerrado	– Regulador con menor requerimiento de fuerza, posicionamiento mediante topes mecánicos, en cadena de regulación abierta

Actuadores mecánicos de fluido

Los principios de regulación y transformación de energía de elementos de ajuste hidráulicos y neumáticos se parecen entre sí (véase también "hidráulica del vehículo" y "neumática del vehículo"). La tabla presenta las diferencias en propiedades y aplicaciones.
Los accionamientos de ajuste mecánicos de fluido se emplean principalmente como transformadores hidrostáticos de energía. Trabajan según el principio del desplazamiento y transforman la energía de la presión del fluido en trabajo mecánico y viceversa.
Los transformadores hidrodinámicos sirven, por el contrario, para la transformación de energía de corrientes (energía cinética o de la velocidad del fluido en movimiento) en trabajo mecánico (p.ej. embrague hidrodinámico, pág. 557).
Las pérdidas en la transformación de la energía se deben a fugas y roces. Las pérdidas fluido-térmicas se producen por la resistencia de la corriente que transforman la energía del fluido, mediante estrangulación, en calor que en parte se cede al entorno y en parte es absorbido y acarreado por el mismo fluido.

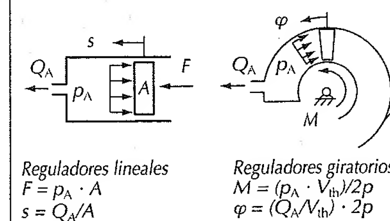
$$Q_{calor} = Q_1 \cdot p_1 - Q_2 \cdot p_2$$

En fluidos incomprimibles

$$Q_{calor} = Q_1 \cdot (p_1 - p_2)$$

En estrangulaciones con cantos vivos (p.ej. pantallas) la corriente forma turbulencias. El caudal de fluido se hace entonces casi independiente de la viscosidad. En una corriente laminar por un tubo de poca sección transversal o por una rendija estrecha la corriente del fluido, si viene, un cambio, influenciada por su viscosidad (véase "hidráulica del vehículo").
Los amplificadores mecánicos de fluido se encargan de la regulación de la transformación de energía entre energía en fluidos y energía mecánica. Para ello se requieren mecanismos cuyo accionamiento necesita

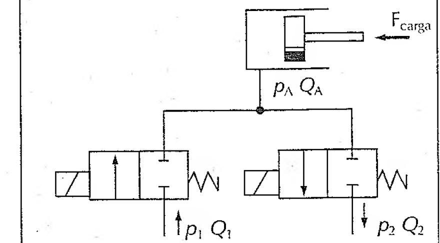
Reguladores mecánicos de fluido



Reguladores lineales
$F = p_A \cdot A$
$s = Q_A/A$

Reguladores giratorios
$M = (p_A \cdot V_{th})/2p$
$\varphi = (Q_A/V_{th}) \cdot 2p$

Mando de energía con válvulas de conexión de 2/2 vías



solo una fracción pequeña de la energía del caudal a regular.
Las válvulas de conexión abren/cierran una abertura de paso, la cual da acceso/cierra a una corriente de fluido desde/hasta un transformador de energía mecánico de fluidos. En abertura suficientemente amplia del elemento de regulación las pérdidas ocasionadas por estrangulación son prácticamente despreciables. Mediante un cerrar/abrir modulado en amplitud de anchos de pulsaciones puede regularse la transformación de energía mecánica de fluidos de forma casi continua y casi sin pérdidas. En la práctica sin embargo, son perjudiciales las vibraciones y ruidos ocasionados por las variaciones de presión y los golpes mecánicos del elemento de la válvula.

Valores característicos de los actuadores

Se presentan y comparan los valores característicos de nueve actuadores diferentes.
Se determinaron de componentes con longitudes de 50 a 100 mm y diámetros de 20 a 50 mm.
Para los motores rotativos, y para poder comparar con los actuadores de movimiento recto, se ha supuesto un huso mecánico con tuerca (1 mm de paso de rosca).

La longitud de huso equivale a la longitud del motor.

Alargamiento
El alargamiento es la carrera referida a la longitud generadora de energía interna del actuador, p.ej. longitud de la pila de elemento piezo, longitud de bobina, longitud interior del cilindro hidráulico. En motores rotativos la carrera se supone que es el alargamiento (70% de la longitud predeterminada del huso).

Tensión
La tensión es la fuerza elevadora referida a la superficie generadora de fuerza, p.ej. sección transversal piezo, superficie frontal o lateral de la bobina), superficie interior del cilindro hidráulico. En motores eléctricos se calcula la tensión transversal partiendo de la fuerza circunferencial en el rotor y su superficie lateral.

Velocidad
La velocidad es la carrera de regulación dividida por el tiempo de regulación. En motores rotativos es la velocidad circunferencial del rotor.

Densidad media de la potencia de regulación
La densidad media de la potencia de regulación es la de regulación admisible térmica referida al volumen del actuador.

Valores característicos

Nº	Tipo de actor	Alargamiento %	Tensión N/mm²	Velocidad m/s	Densidad de potencia de regulación por carrera W/cm³	Densidad media de potencia de regulación mW/cm³	Rendimiento %
1	Cilindro hidráulico	30	21	0,25	9	3020	92
2	Cilindro neumático	76	1	1	3,5	1180	88
3	Motor de corriente continua	70	0,007[(2)]	6[(3)]	0,8	791	50
4	Motor de ultrasonidos	70	0,06[(2)]	0,35[(3)]	0,13	133	16
5	Actuador piezo	0,09	30	2[(4)]	15,6	61	7
6	Alambre memoria	4	50	0,002	0,32	53	0,3
7	Imán elevador de válvula[(1)]	0,8	2,2	0,5	8	44	5
8	Actor magneto-estrictor	0,09	22	1,5	1,6	5,4	5
9	Imán elevador 5% ED	21	0,1	0,16	0,12	4,1	5

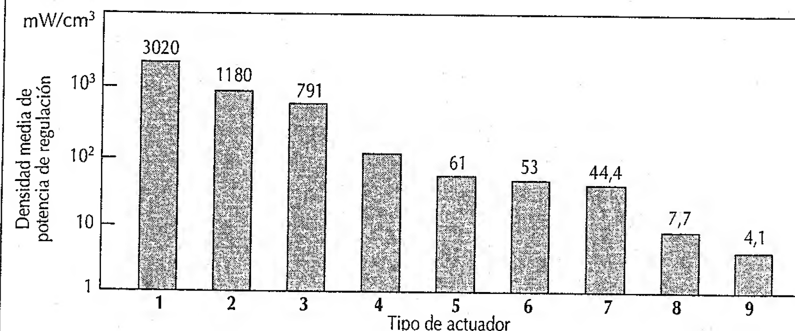
[(1)] enfriado por carburante, [(2)] tensión de empuje en el entrehierro del rotor o sea, fricción, [(3)] velocidad circunferencial del rotor, [(4)] límite teórico.

Densidad de potencia de regulación por carrera
La densidad de potencia de regulación por carrera es la potencia temporal breve máxima de regulación para una carrera referida al volumen del actuador. En motores rotativos de nuevo se predetermina un huso (paso de rosca 1 mm) con una longitud correspondiente a la del motor.

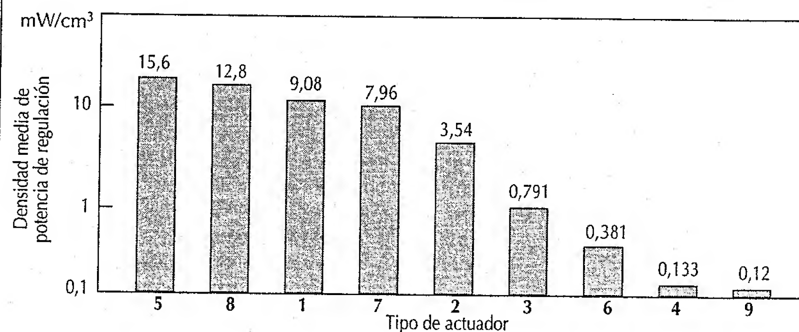
Rendimiento
El rendimiento es la energía cedida dividida por la energía aportada al actuador sin las pérdidas del mando electrónico o demás dispositivos de mando. No se consideran las posibilidades de la recuperación de energía como p.ej. con actuador piezo.

Características
Los actuadores hidráulicos se emplean ventajosamente para potencias constantes elevadas ya que alcanzan valores altos en alargamiento, tensión y velocidad.
Los motores eléctricos, a pesar de las fuerzas de campo magnético reducidas, alcanzan gracias a su alta velocidad circunferencial elevadas densidades de potencia constante.
Los actuadores piezo son muy apropiados, por su gran fuerza, para energías altas breves (a pesar de su alargamiento reducido).
Los imanes elevadores tienen altas pérdidas de calor por la bobina y alcanzan con buena refrigeración densidades de potencia medias, parecidas a la de los actuadores de cuerpo sólido.

Densidad media de potencia de regulación de algunos actuadores escogidos
1 Cilindro hidráulico, 2 Cilindro neumático, 3 Motor de corriente continua, 4 Motor de ultrasonidos, 5 Actuador piezo, 6 Alambre de memoria, 7 Válvula-imán elevador, 8 Actuador magnetoestrictor, 9 Imán elevador 5% ED



Densidad de potencia de regulación por carrera de algunos actuadores escogidos
1 Cilindro hidráulico, 2 Cilindro neumático, 3 Motor de corriente continua, 4 Motor de ultrasonidos, 5 Actuador piezo, 6 Alambre de memoria, 7 Válvula-imán elevador, 8 Actuador magnetoestrictor, 9 Imán elevador 5% ED



Máquinas eléctricas

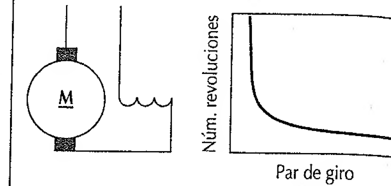
Funcionamiento

Las máquinas eléctricas sirven para transformar energía eléctrica y mecánica. Si funcionan como motor, transforman energía eléctrica en mecánica, y si funcionan como generador la transformación es en sentido contrario. Las máquinas constan de una parte fija (estátor) y una parte giratoria (rotor). Apartándose de esto hay construcciones especiales, como las máquinas lineales, que producen un movimiento lineal. En el estátor y en el rotor se generan, ya sea por imanes permanentes o por varias bobinas eléctricas (devanado), campos magnéticos que originan un par de giro entre ambas partes de la máquina. Para conducir los campos magnéticos, el rotor y el estator son de hierro. Cuando el campo magnético es variable (corriente alterna) y a fin de evitar las corrientes de Foucault (parásitas), ese hierro está compuesto de láminas aisladas entre sí. La disposición espacial de las bobinas y la elección del tipo de corriente (continua, alterna o trifásica) permiten construir diversos tipos de máquinas eléctricas. Se diferencian por su comportamiento en servicio y por ello tienen campos de aplicación diferentes.

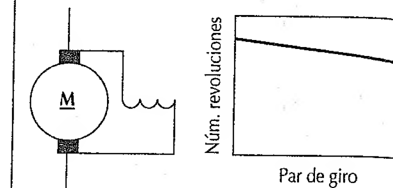
Máquinas de corriente continua

El estátor de una máquina de corriente continua contiene polos individuales que se magnetizan por medio de los devanados de excitación por corriente continua. En el rotor (que también se llama inducido) están repartidas las bobinas en ranuras del paquete de chapas de hierro y van conectadas a un colector. En la carcasa del estátor unas escobillas de carbón rozan contra el colector (inversor de corriente) y transmiten una corriente continua a las espiras del inducido. Al girar el colector se invierte el sentido de la corriente en las bobinas. La elección de la conexión de devanado de excitación e inducido produce diferentes características de número de revoluciones/par de giro.

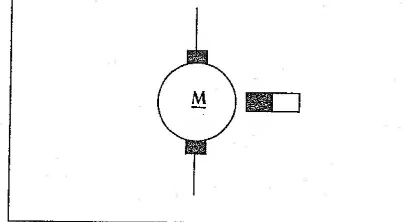
Máquina en serie



Máquina en paralelo



Motor con excitación por imán permanente



Conexión en serie

(Comportamiento de la conexión en serie)
El número de revoluciones depende típicamente de la carga. Un par de giro grande, en vacío, puede llevar a un número de revoluciones inadmisible y por eso es preciso mantenerlo siempre acoplado a la carga; el sentido de giro se cambia invirtiendo el de la corriente en el inducido o en el devanado de excitación; se utiliza como motor de accionamiento de vehículos o como motor de arranque de motores de combustión.

Conexión en paralelo

(Comportamiento de la conexión en paralelo)
El número de revoluciones varía poco con la carga; se cambia el sentido de giro invirtiendo el sentido de la corriente en el inducido o en el devanado de excitación. Se utiliza como motor de accionamiento de máquinas herramienta o de generadores de corriente continua. Alimentando el devanado de excitación por medio de otra alimentación de corriente (excitación externa) o bien por medio de polos de imanes permanentes en el estátor se obtiene igualmente una característica de conexión en paralelo. Se utiliza en motores para vehículos, permanentemente excitados; en motores de arranque de limpiaparabrisas y motores pequeños para diversos accionamientos. Cuando se incorporan devanados de excitación en serie y en paralelo (doble circuito o Compound) se consiguen etapas intermedias en la característica del número de revoluciones/par de giro; utilización, por ejemplo, en motores de arranque grandes.

En todas las máquinas de corriente continua son posibles grandes variaciones del número de revoluciones a bajo coste. Cuando existe una tensión de inducido regulable por introducción de dispositivos rectificadores de la corriente, el número de revoluciones puede variarse de forma continua. La disminución de la corriente de excitación (disminución del campo) permite otra elevación del número de revoluciones al alcanzar la tensión nominal de inducido. Un inconveniente de las máquinas de corriente continua es el desgaste de las escobillas de carbón y del colector que hacen necesario el mantenimiento periódico.

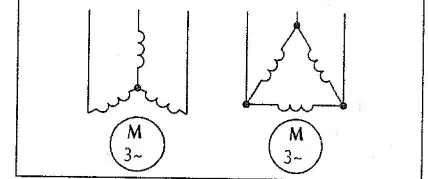
Máquinas de corriente alterna trifásica

En el estátor de una máquina de corriente alterna trifásica hay un devanado de tres bobinas repartidas en las ranuras. Las tres fases de la corriente trifásica producen un campo magnético giratorio (campo giratorio). El número de revoluciones n_0 del campo giratorio se calcula por:

$n_0 = 60 \cdot f/p$

donde f es la frecuencia y p el número de pares de polos.

Motor asincrónico trifásico con rotor de jaula



Las máquinas de corriente alterna trifásica se clasifican según los diferentes tipos de rotores en asincrónicas y sincrónicas.

Máquinas asincrónicas
El rotor de chapas contiene un devanado trifásico igual que el estátor o bien un devanado de barras. El devanado trifásico está conectado a anillos rozantes (colectores) que están cortocircuitados directamente a través de resistencias en serie. En el caso del devanado de barras, éstas están conectadas entre sí por medio de dos anillos de cortocircuito (rotor de jaula). Tan pronto como el número de revoluciones del rotor se aparta de n_0, el campo magnético giratorio del estátor induce corrientes en los devanados del rotor, con lo que se produce un par de giro. La desviación del número de revoluciones n del rotor respecto a n_0 se caracteriza por medio del deslizamiento s:

$s = (n_0 - n)/n_0$

El funcionamiento continuado económico sólo es posible en las proximidades de n_0, puesto que las pérdidas, al aumentar el deslizamiento, crecen (deslizamiento nominal ≤ 5%). En esta zona la máquina asincrónica tiene el comportamiento de la conexión en paralelo. Para $n < n_0$ la máquina trabaja como motor; para $n > n_0$ como generador. El sentido de giro se invierte permutando dos fases.

Ejemplos de número de revoluciones del campo giratorio

Núm de polos (2 p)	Frecuencia 50 Hz	150 Hz	200 Hz
	Núm. revol. campo girat. en min^{-1}		
2	3000	9000	12000
4	1500	4500	6000
6	1000	3000	4000
8	750	2250	3000
10	600	1800	2400
12	500	1500	2000

La máquina asincrónica es el motor eléctrico más utilizado en la técnica del accionamiento. Con rotor de jaula es de fácil manejo y precisa poco mantenimiento.

Máquinas sincrónicas

En el rotor (llamado en este caso también rueda polar) se magnetizan los polos con bobinas de corriente continua. La corriente se transmite al rotor por lo general por medio de dos anillos rozantes. La rueda polar puede estar construida de acero macizo, puesto que el flujo magnético es siempre constante. Mientras el rotor gira a n_0 existe un par de giro constante. De lo contrario el par de giro oscila periódicamente entre un valor máximo positivo y otro máximo negativo, con corrientes excesivamente grandes, no admisibles.

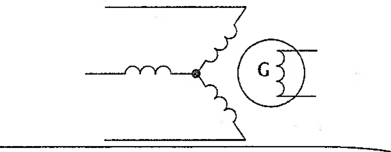
Por ello una máquina sincrónica no puede funcionar sin dispositivos auxiliares. Además, las máquinas sincrónicas se diferencian de las asincrónicas en que la absorción o cesión de potencia reactiva es regulable. El uso más frecuente de la máquina sincrónica es como generador en las centrales eléctricas para el suministro de energía. Los motores sincrónicos se instalan cuando se desea un número de revoluciones muy constante cuando se alimentan a frecuencia constante de la red o bien cuando existen exigencias respecto a la potencia reactiva. El alternador trifásico para vehículos es una clase especial de máquina sincrónica.

El número de revoluciones de todas las máquinas trifásicas se fija por la frecuencia en el estátor. Los rectificadores de corriente, que varían la frecuencia, permiten pues una amplia presentación de velocidades.

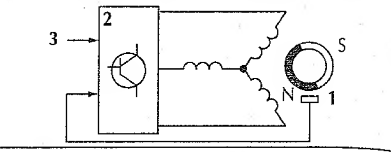
Motores EC

Cada vez más se utilizan los "motores de corriente continua de conmutación electrónica" o motores EC. Desde el punto de vista de la ejecución se trata de una máquina sincrónica sin anillo rozante y excitada por un imán permanente. Está provista de un sensor de posición del rotor y es alimentada desde una red de corriente continua a través de una electrónica de mando y de rendimiento. Mediante la conexión electrónica, dependiente de la posición del rotor, de las corrientes en el bobinado del estátor —los imanes que originan el flujo

Generador de corriente trifásica sincrónico conectado en estrella
Rotor de anillos rozantes con devanado de excitación



Motor EC
1 Máquina eléctrica con sensor de posición de rotor, 2 Electrónica de mando y de rendimiento, 3 entrada



de excitación están en el rotor— se obtiene la dependencia del número de revoluciones/par de giro de una máquina de corriente continua. En comparación con la ejecución clásica de una máquina de corriente continua, las funciones magnéticas de estátor y rotor están intercambiadas entre sí.

Las ventajas de este principio de accionamiento determinan sus aplicaciones: el conmutador y las escobillas de carbón son sustituidas por electrónica, ya no hay ruidos de escobillas ni su desgaste. Los motores EC están exentos de mantenimiento (alta expectación de vida) y pueden fabricarse con mucha protección (véase más abajo). Gracias al mando electrónico los accionamientos con motores EC pueden adoptar funciones adicionales sin ningún problema, como la regulación sin escalones del número de revoluciones, inversión del sentido de giro, arranque suave y protección contra bloqueo.

En los automóviles los campos de aplicación residen en los sectores de ventilación/climatización así como también en bombas y accionamientos de regulación. En el sector de la producción los motores EC encuentran aplicación preferente en accionamientos asistidos de alta precisión para ejes de avance de máquinas herramienta. Aquí se le da mucha importancia a la falta de mantenimiento necesario, a la alta dinámica y a la reducida ondulación del par de giro obtenido.

Máquinas de corriente alterna monofásica

Motores universales

El motor de corriente continua en serie puede funcionar con corriente alterna, si el estátor también está hecho de láminas de hierro. Entonces se denomina motor universal.

En funcionamiento con corriente alterna, a la componente constante del par de giro se sobrepone otra con doble frecuencia de la que tiene la corriente.

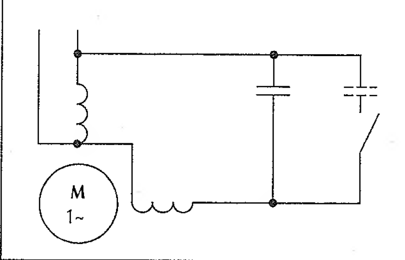
Motores monofásicos asincrónicos con rotor de jaula

La ejecución más sencilla de motor asincrónico monofásico es la que resulta de conectar una máquina asincrónica trifásica con sólo dos bobinas del estátor a la corriente alterna. Sin embargo, para iguales condiciones de trabajo, la potencia y el par de giro máximo se reducen. Además, el motor asincrónico monofásico no puede arrancar por sí solo.

Las máquinas previstas para trabajar únicamente como monofásicas, llevan en el estátor sólo un devanado principal monofásico y conexiones auxiliares para el arranque. Para ello se incorpora en el estátor un devanado auxiliar paralelo al principal. El defase necesario de la corriente del devanado auxiliar se puede conseguir por una mayor resistencia del devanado (par de arranque pequeño), o por medio de un condensador en serie con el devanado auxiliar (par de arranque algo mayor).

Después del arranque se desconecta el devanado auxiliar. Se invierte el sentido de giro permutando las dos conexiones del devanado auxiliar o las del principal. El motor con condensador en el devanado auxiliar se llama motor de condensador. Los motores de condensador con condensador para el arranque y condensador en servicio trabajan con el devanado auxiliar y condensador en servicio continuo. Si se elige correctamente el condensador para un punto de servicio, se puede conseguir un comportamiento óptimo en aquel punto. Para elevar el par de arranque se utiliza frecuentemente un condensador adicional, que después del arranque se desconecte nuevamente.

Motor con condensador, con condensador de arranque y condensador de servicio



Tipos de funcionamiento nominal de las máquinas eléctricas

(VDE 0530)

Servicio continuo S1

Servicio en estado constante de carga (potencia nominal), cuya duración basta para conseguir el equilibrio térmico.

Servicio de corta duración S2

El servicio bajo estado de carga constante es tan corto, que no se alcanza el equilibrio térmico. El reposo es tan largo, que la máquina se enfría hasta la temperatura del medio refrigerante.

Los valores recomendados para la duración del funcionamiento de corta duración son: 0, 30, 60 y 90 min.

Servicio intermitente S3 a S5

Sucesión continuada de periodos de carga y reposo. Dentro de un ciclo no se alcanza el equilibrio térmico ni en el periodo de carga ni en el de enfriamiento.

S3 Servicio intermitente sin influencia del arranque en la temperatura.

S4 Servicio intermitente con influencia del arranque en la temperatura.

S5 Servicio intermitente con influencia del arranque y del frenado en la temperatura.

Servicio continuo S6

Servicio con carga intermitente. Sucesión continua de periodos de carga y de funcionamiento en vacío. Por lo demás como S3.

Servicio ininterrumpido S7

Servicio con arranque y frenado.

Servicio ininterrumpido S8
Servicio con conmutación de polos.
En S3 y S6 la duración del ciclo, si no se indica lo contrario, es de 10 min; los valores recomendables para la duración relativa de conexión, 15, 25, 40 y 60 %. En S2, S3 y S6 hay que indicar detrás del símbolo, la duración del servicio o la duración del ciclo y la duración relativa de conexión. La duración del ciclo sólo hay que indicarla si difiere de los 10 min. Por ejemplo: S2-60 min, S3-25 %.

Duración relativa de conexión
La duración relativa de conexión es la relación entre la duración de la marcha bajo carga incluyendo el arranque y el frenado, y la duración del ciclo.

Temperatura del devanado
La temperatura t_2 del devanado de las máquinas eléctricas puede determinarse por la elevación de la resistencia:

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1}(\tau + t_1) + t_1$$

donde

$$\tau = \frac{1}{\alpha} - 20\ \mathrm{K}$$

α = coeficiente de temperatura

Tipos de protecciones de las máquinas eléctricas

(DIN 40050)

Ejemplos:

Protección tipo IP 00
Ninguna protección contra contacto, ninguna protección contra cuerpos extraños, ninguna protección contra el agua.

Protección tipo IP 11
Protección contra el contacto manual en una superficie grande. Protección contra cuerpos sólidos extraños. Protección contra el goteo de agua.

Protección tipo IP 23
Protección contra el contacto con los dedos, protección contra cuerpos sólidos extraños de tamaño medio, protección contra agua de rociado que incide verticalmente u oblicuamente hasta 60° con la vertical.

Protección tipo IP 44
Protección contra el contacto con herramientas o similares, protección contra cuerpos extraños sólidos pequeños. Protección contra salpicaduras de agua en cualquier dirección.

Protección tipo IP 67
Protección total contra contacto, impermeable al polvo, protección contra la entrada de cantidades nocivas de agua durante la inmersión en agua, en condiciones predeterminadas de presión y duración.

Protección contra explosión
(VDE 0170/0171)
Símbolo abreviado d: Blindaje a prueba de presión; símbolo abreviado f: ventilación exterior; símbolo abreviado e: seguridad elevada; símbolo abreviado s: protección especial, por ejemplo, para máquinas que funcionan en líquidos Inflamables.

Óptica técnica

Unidades y magnitudes de luminotecnia

Los nombres de las unidades en la pág. 16

Magnitud		Unidad SI
A	Superficie	m²
	A_1 sup. radiante	
	A_2 sup. irradiada	
E	Intensidad de iluminación	lx = lm/m²
I	Intens. luminosa	cd
L	Intensidad de alumbrado	cd/m²
M	Radiación luminosa específica	lm/m²
P	Potencia	W
Q	Cantidad de luz	lm · s

Magnitud		Unidad SI
r	Distancia	m
t	Tiempo	s
ε_1	Ángulo del rayo incidente (respecto normal a la sup.)	°
ε_2	Áng. rayo refractado	°
ε_3	Áng. rayo reflejado	°
η	Rendim. luminoso	lm/W
Φ	Flujo lumínico	lm
Ω	Ángulo sólido	sr
λ	Longitud onda	nm

Radiación electromagnética

Propagación a la velocidad de la luz. Naturaleza ondulatoria. Sin desviación por campos eléctricos o magnéticos. Longitud de onda $\lambda = c/f$, c = velocidad de la luz = $3 \cdot 10^8$ m/s = 300 000 km/s, f = frecuencia en Hz.

Denominación	Banda de long. onda	Obtención	Ejemplos de utilización
Radiación cósmica	< 0,1 pm	Bombardeo de la at. terrestre con partículas cósmicas elementales	Invest. sobre física del núcleo
Radiación gamma	0,1 a 10 pm	Desintegración radiactiva	Física núcleo técnica isótopos
Rayos X	10 pm a 10 nm	Tubos rayos X (aparic. electrones de alta energía en el anticátodo)	Ensayos de materiales, diagnóst. médicos
Radiación ultravioleta	10 a 380 nm	Lámparas descarga gas, Láser	Terapia piel, fotolitografía en obtenc. circuitos integr.
Radiación visible	380 a 780 nm	Lámparas de descarga de gas, lámparas de incandescencia, Láser	Óptica técnica, fotografía alumbrado vehículos
Radiación infrarroja	780 nm a 1 mm	Radiador térmico, diodos infrarrojos, Láser	Terapéut., medición distancia en vehículos
Ondas EHF	1 mm a 1 cm	Tubos de ondas progresivas, circuitos oscilantes, oscilador de cuarzo	Emisión por satélite, calent. microondas, radares tráfico, televisión radio, intercomun. radio
Ondas SHF	1 a 10 cm		
Ondas UHF	10 cm a 1 m		
Ondas VHF	1 a 10 m		
Ondas HF	10 a 100 m		
Onads MF	100 m a 1 km		
Ondas LF	1 a 10 km		
Ondas VLF	10 a 100 km		

Óptica geométrica

En muchos casos las medidas geométricas de los medios, en los que se propaga la radiación óptica, son grandes comparados con las longitudes de onda. En esos casos la propagación de la luz se puede explicar por medio de "rayos de luz" y describir por medio de leyes geométricas sencillas.

En la superficie de separación de dos medios, un rayo incidente se descompone en uno refractado y otro reflejado.

Para el rayo refractado se cumple la ley de la refracción:

$n_1 \cdot \text{sen } \varepsilon_1 = n_2 \cdot \text{sen } \varepsilon_2$

En el vacío y en los llamados medios dieléctricos (aire, vidrio, plástico, no metales), los índices de refracción n_1 y n_2 son números reales, por lo general complejos. Los índices de refracción de los medios dependen de la longitud de onda (dispersión). En la mayoría de los casos disminuyen al aumentar la longitud de onda.

Para la dirección del rayo reflejado se tiene:

$\varepsilon_3 = \varepsilon_1$

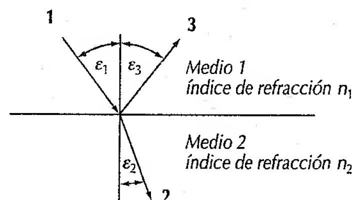
La relación de intensidad (grado de reflexión) entre los rayos reflejados y los rayos incidentes depende del ángulo de incidencia y de los índices de refracción de los medios limitantes. En el paso del aire (η_1 = 1,00) al vidrio (η_2 = 1 ,52) de la radiación incidente perpendicular ($\varepsilon_1 = 0$), se refleja el 4,3% de su energía.

Si el rayo incidente procede del medio óptico más denso ($\eta_1 > \eta_2$), puede tener lugar la reflexión total, en el caso de que el ángulo incidente ε_1 alcance el valor del ángulo límite de la reflexión total ε_{1max} o lo supere. Según la ley de la reflexión, resulta

$\text{sen } \varepsilon_{1max} = n_2/n_1$

Refracción y reflexión

1 *Rayo incidente,* **2** *Rayo refractado,* **3** *Rayo reflejado*



Indices de refracción n_D (para la luz amarilla del sodio, longitud de onda λ = 589,3 nm) en el:

Medio	n_D
Vacío, aire	1,00
Hielo (± 0 °C)	1,31
Agua (± 20 °C)	1,33
Cristal de cuarzo	1,46
Vidrio estándar para óptica	1,51673
Vidrio ventanas, vidrio para pant. difus. faros vehículos	1,52
Polimetilactilato de metilo	1,49
Cloruro de polivinilo	1,54
Policarbonato	1,58
Poliestireno	1,59
Resina epoxídica	1,60
Arsenito de galio (según dopaje)	3,5 aprox.

Componentes

Lentes cilíndricas

En una lente cilíndrica los rayos paralelos son reunidos en una curva cáustica.

Prismas

Estos elementos se introducen para desviar el rayo luminoso un ángulo deseado. Los rayos paralelos permanecen paralelos después de ser desviados por un prisma.

En el faro de un automóvil se utilizan elementos de cilindros y de prismas para influenciar favorablemente en la radiación proveniente del reflector.

Reflectores

La misión de los reflectores para automóviles es captar la mayor cantidad posible de luz de la bombilla del faro, lograr el alcance mayor posible y mejor distribución de la luz sobre la carretera, de tal forma que se cumplan las disposiciones legales. Exigencias adicionales al faro resultan del diseño (p.ej. por la incorporación en el parachoques).

Mientras que antes se utilizaban casi exclusivamente reflectores parabólicos, hoy día se aplican los conceptos arriba mencionados, en parte contradictorios, solamente mediante reflectores escalonados, formas de superficies libres o nuevos conceptos de faros (PES).

En general se puede obtener un alcance mayor, cuanto mayor sea la superficie de salida del haz de luz. Por otro lado la obtención cuantitativa de luz será tanto mayor, cuanto más aumente el ángulo del entorno de luz captado por el reflector.

Filtros de color

Para las luces de los vehículos y según su utilización (intermitentes, luces de frenado) deben respetarse unas normas precisas con relación al color para cada aplicación. Utilizando filtros de color, a través de los cuales las radiaciones de una determinada zona del espectro son amortiguadas, se puede conseguir la adaptación a las normas de homologación.

Fuentes de luz

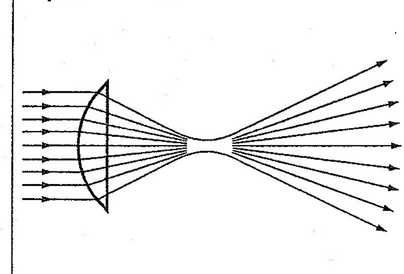
Los electrones de la capa exterior de átomos de ciertos materiales pueden adoptar por excitación (aporte energético) un nivel mayor de energía. Al "recaer" otra vez al nivel inicial inferior, se libera la energía aportada en forma de radiación electromagnética.

Los diferentes tipos de fuentes de luz se diferencian básicamente por el tipo de excitación de los electrones (aporte de energía).

Radiadores térmicos

En este tipo de fuente de luz se aumenta el nivel de energía mediante aporte de calor.

Elemento dispersor cilíndrico de un cristal dispersor de un faro



La irradiación se efectúa de forma continua sobre un ancho campo de longitudes de onda. El rendimiento total de radiación es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta (ley de Stephan-Boltzmann) y el máximo de la curva de distribución se traslada, al incrementarse la temperatura, hacia longitudes de onda más cortas (ley de Wien).

Lámpara de incandescencia

Pertenece a los radiadores de temperatura, cuyo filamento incandescente consta de wolframio (temperatura de fusión 3660 K). La evaporación del wolframio y el ennegrecimiento del émbolo limitan la vida de esta lámpara.

Lámpara de halógeno

Un relleno de halógeno (iodo o bromo) en la lámpara permite una temperatura del filamento incandescente hasta cerca del punto de fusión del wolframio. En la cercanía de la pared caliente del émbolo se combina el wolframio evaporado con el gas de relleno y se forman halogenuros de wolframio gaseosos y permeables a la luz. Esto es estable en el intervalo de temperaturas entre 500 y 1700 K. Por convección llegan al filamento, se descomponen por la alta temperatura del filamento y se forma una deposición uniforme de wolframio encima del filamento. Para mantener activo a este circuito de procesos, se requiere una temperatura exterior del émbolo de 300 °C. Además el émbolo de cuarzo debe circundar estrechamente al filamento. Esto tiene la ventaja de que se puede trabajar con mayor presión de llenado y contrarrestar así la evaporación del wolframio. Desventaja de esta lámpara es el reducido rendimiento luminoso.

Lámparas de descarga de gas

Las lámparas de descarga de gas se caracterizan por un mayor rendimiento luminoso. En un émbolo cerrado, llenado de gas, se mantiene activa una descarga de gas mediante la formación de una tensión entre dos electrodos. La excitación de los átomos del gas radiante resulta de choques entre electrones y átomos de gas. Los átomos así excitados ceden su energía en forma de radiación luminosa.

Ejemplos de lámparas de descarga de gas son las de vapor de sodio (iluminación urbana), las fluorescentes (iluminación de interiores) y las de automóviles ("Litronic", pág. 706).

Luz y fisiología de la visión

Puesto que la zona sensible a la radiación visible difiere individualmente, existe una función de sensibilidad a la luz general para los cálculos y mediciones de luminotecnia, cuya variación queda determinada, por ejemplo, en forma de tablas en DIN 5031, parte 3. Esta función se llama grado de sensibilidad a la luz espectral para la visión diurna $V(\lambda)$. Con la ayuda de esta función se pueden calcular con exactitud los valores luminotécnicos partiendo de los valores físicos objetivos.

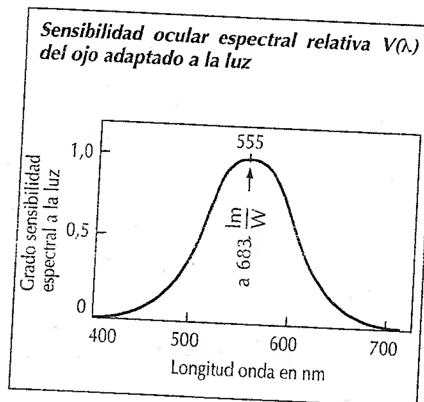
Definición de las magnitudes y unidades de luminotecnia:

Flujo luminoso Φ
Potencia de luz emitida por una fuente, medida por medio de la sensibilidad a la luz espectral

$$\Phi = K_m \cdot \int P_\lambda \cdot V(\lambda) d\lambda$$

K_m = 683 lm/W (valor máximo del equivalente fotométrico de radiación para visión diurna)
$V(\lambda)$ grado de sensibilidad espectral a la claridad para 2° de campode visión según DIN 5031, parte 3ª
P_λ potencia de radiación espectral

Sensibilidad ocular espectral relativa $V(\lambda)$ del ojo adaptado a la luz



Cantidad de luz Q
Energía de radiación espectral evaluada con $V(\lambda)$. Para un flujo luminoso constante en el tiempo, rige que:

$$Q = \Phi \cdot t$$

Intensidad luminosa I
Relación entre flujo luminoso y el ángulo sólido irradiado.

$$I = \Phi / \Omega$$

Intensidad de iluminación E
Relación entre el flujo luminoso incidente y el área de la superficie iluminada.

$$E = \Phi / A_2$$

Intensidad de alumbrado L
Relación entre la intensidad luminosa y el área aparente de la superficie radiante

$$L = I / (A_1 \cdot \cos \alpha)$$

α es el ángulo entre la dirección del rayo y la normal a la superficie.

Radiación luminosa específica M
Relación entre el flujo luminoso emitido por una superficie luminosa y el área de la superficie

$$M = \Phi / A_1$$

Rendimiento luminoso η
Relación entre el flujo luminoso emitido y la potencia absorbida

$$\eta = \Phi / P$$

El rendimiento luminoso no puede exceder del valor máximo del "Equivalente de radiación fotométrica" K_m = 683 lm/W a una longitud de onda λ = 555 nm.

Ángulo sólido Ω
Relación entre la parte irradiada de la superficie esférica de una esfera concéntrica con la fuente emisora y el cuadrado del radio de la esfera. El ángulo sólido total es:

$$\Omega = 4\pi \cdot \text{sr} \approx 12{,}56 \cdot \text{sr}$$

sr = Estereorradián

Contraste
Relación entre las intensidades de alumbrado de dos superficies contiguas.

Técnica láser

En comparación con otras fuentes de luz, el láser tiene las siguientes características:

- alta densidad luminosa, concentración de la radiación en un diámetro de pocas longitudes de onda de la luz,
- ensanche reducido del haz
- radiación monocromática
- utilizable para técnica de medición coherente (gran longitud de coherencia de la radiación),
- altos rendimientos (en láseres de mecanización).

La generación de luz en un láser se efectúa por las emisiones inducidas en un material láser específico, el cual es llevado a un estado de excitación mediante aporte de energía (en la mayoría de las veces en forma de luz). Un resonador influye en la forma del rayo según se desee. La radiación láser sale del resonador a través de un espejo parcialmente permeable.

Ejemplos para láseres usuales son:

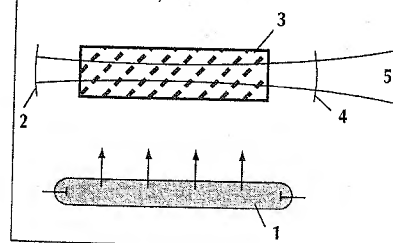
Tipo de láser	Longitud de onda	Ejemplos de aplicaciones
Láser de helio/neón	633 nm	Técnica de medición
Láser de CO_2	10,6 mm	Mecanización
Láser YAG	1064 nm	Mecanización
Láser semiconductor	p.ej. 670 nm p.ej. 1300 nm	Técnica de medición Técnica de comunicaciones

Con la técnica de medición láser se pueden comprobar tolerancias de fabricación de superficies de mecanización ultrafina (p.ej. válvulas de inyección) sin contacto ni repercusiones. Con métodos interferométricos se consiguen resoluciones del orden de nm.

Otras aplicaciones en el sector técnico son la holografía (informaciones visuales en el espacio), reconocimiento automático de signos (lectores de códigos de barras), captación de información (lectores de discos compactos), mecanización, microcirugía y transmisores de datos en conductores de ondas luminosas.

Para la manipulación de instalaciones de rayos láser se tienen que seguir prescripciones especiales. Los dispositivos láser son clasificados en clases, en vista de los potenciales peligros. Ver detalles en DIN 0837, "seguridad ante radiación de dispositivos láser").

Principio del láser
1 Fuente luminosa de bombeo, 2 Espejo del resonador, 3 Material activo del láser, 4 Espejo permeable parcialmente, 5 Rayo láser



Conductores de ondas luminosas

Estructura

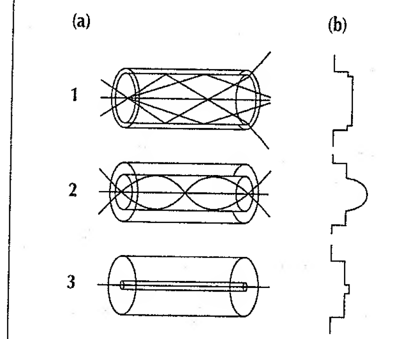
Los conductores de ondas luminosas (LWL) se utilizan para la transmisión de ondas electromagnéticas en los intervalos espectrales ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (IR). Son de vidrio, cuarzo o polímeros, la mayoría de las veces en forma de fibras con un núcleo, cuyo índice de refracción es mayor que el de la envoltura. Así se aprisiona la luz que entra en la zona del núcleo mediante refracción o reflexión total. Hay tres tipos de fibras, según los índices de refracción:

- fibra escalonada con límite abrupto entre núcleo y envoltura,
- fibra de gradientes con transcurso escalonado del índice de refracción en el núcleo,
- fibra monomodal con un diámetro de núcleo muy reducido.

Las fibras escalonadas y de gradientes son fibras multimodales (MM), es decir que dentro de ellas las ondas luminosas se pueden difundir oblicuamente en diferentes recorridos. En la fibra monomodal (EM) solamente se puede difundir la modalidad básica.

Fibras de polímeros (plásticos) son siempre fibras escalonadas.

Difusión de la luz dentro de conductores de ondas luminosas
(a) *Fibras en forma esquemática,* (b) *Perfil de índices de refracción.* 1 *Fibra escalonada,* 2 *Fibra de gradientes,* 3 *Fibra monomodal*



Características

Los LWL pueden captar la luz solamente bajo un campo limitado de ángulos Θ. Como medida para ello sirve la abertura numérica (NA) = sen (Θ/2) (ver tabla).

La permeabilidad es limitada en el intervalo UV por la difusión de Rayleigh y en el IR por la absorción molecular. Los LWL de vidrio poseen una transparencia buena en el campo desde UV hasta IR. Especialmente reducida es su amortiguación en las longitudes de onda de 850 nm, 1300 nm y 1550 nm. Las fibras de plástico absorben por debajo de 450 nm y por encima de 850 nm.

La dispersión y las diferencias de tiempo de recorrido de los modos causan un ensanche de los impulsos luminosos que se incrementa con la longitud de la fibra y limitan así la anchura de banda.

Los LWL son utilizables a temperaturas entre –40 y 135 °C, y en ejecuciones especiales incluso hasta 800 °C.

Campos de aplicación

El campo principal de aplicación es la transmisión de datos. Las fibras de plástico se utilizan principalmente en el sector de las LAN (Local Area Network – redes de área locales). Para distancias medias se prestan especialmente las fibras de gradientes. Par la transmisión de datos a largas distancias se utilizan exclusivamente fibras monomodales. Una importancia creciente están adquiriendo las LWL en el sector de la sensórica. Los sensores de fibra óptica no producen campos de difusión ni chispas y ellos mismos no son sensibles a dicho tipo de interferencias. Actualmente se emplean en lugares con peligro de explosiones, en medicina y en los trenes de alta velocidad.

En los campos de la mecanización con rayos láser, en microcirugía y en la técnica de iluminación el transporte de energía tiene una importancia preponderante.

Holografía

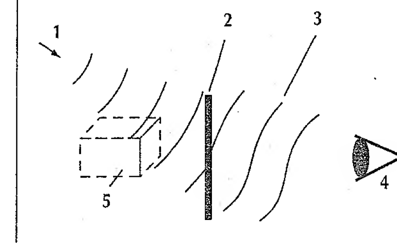
En la grabación convencional de imágenes (fotografía, cámara de vídeo) la imagen tridimensional se reduce a bidimensional. La información espacial se pierde en la grabación. Las impresiones de espacio se basan en una ilusión de los órganos sensoriales.

Mediante la holografía se memorizan y reproducen informaciones tridimensionales. Para la grabación se necesitan trenes de ondas luminosas coherentes. En la grabación de una imagen holográfica un divisor de rayos divide al rayo láser en uno objetivo y otro de referencia. Las ondas así obtenidas del objeto y de referencia forman un diseño de interferencias sobre el medio de grabación (placa holográfica), donde se memorizan como retícula de difracción.

Tipo de fibra	Diámetro núcleo µm	Diámetro envoltura µm	Longitud de onda nm	Abertura numérica NA	Amortiguación dB/km	Ancho de banda MHz · km
Fibra escalon.						
cuarzo/vidrio	50 a 1000	70 a 1000	250 a 1550	0,2 a 0,87	5 a 10	10
polímero	200 > 1000	250 a 2000	450 a 850	0,2 a 0,6	100 a 500	< 10
Fibra de gradiente	50 a 150	100 a 500	450 a 1550	0,2 a 0,3	3 a 5	200 a 1000
Fibra monomodal	3 a 10	100 a 500	850 a 1550	0,12 a 0,21	0,3 a 1	2500 a 150000

La radiación ensanchada de un láser ilumina una placa holográfica y reconstruye el holograma. La retícula de difracción deforma de tal forma a la onda láser, que el observador tiene la impresión de que el objeto está situado detrás de la placa holográfica.

Reproducción holográfica
1 *Onda de reconstrucción,* 2 *Holograma,* 3 *Onda deformada,* 4 *Observador,* 5 *Imagen virtual*



Ejemplos de aplicaciones:
- registro de desviaciones mínimas de recorrido
- medición de deformaciones y amplitudes de oscilación muy por debajo de la longitud de onda de la luz mediante la interferometría holográfica
- métodos de medición y de comprobación en la producción de precisión (p.ej. componentes de la técnica de inyección)
- elaboración de documentos seguros contra falsificación
- utilización de elementos holográficos para imágenes.

Elementos indicadores

Indicadores ópticos ampliamente utilizados son los indicadores de cristal líquido y de diodos luminosos.

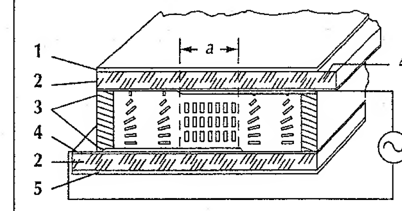
Indicadores de cristal líquido

La indicación por cristales líquidos o LCD (Liquid Crystal Display) es un elemento de indicación pasivo. Las diferencias de contraste producidas se hacen visibles por iluminación adicional. El tipo de LCD más frecuentemente utilizado es la célula de rotación o célula TN.

Entre dos placas de vidrio se ubica la substancia de cristal líquido. En el sector de indicación las placas de vidrio están cubiertas de una capa transparente conductora de corriente, a la cual puede ser conectada una tensión: entre las capas se forma un campo eléctrico. Una capa adicional de orientación origina una rotación del plano de polarización de la luz que traspasa a la célula. Aplicando polarizadores cruzados en los lados externos, la célula primeramente es permeable a la luz. En el sector de los electrodos opuestos, las moléculas del cristal líquido son orientadas en la dirección del campo eléctrico. En este caso no gira el plano de polarización y el sector de indicación se torna impermeable a la luz.

Mediante sectores o zonas de indicación separados se representan cifras, letras y símbolos.

Funcionamiento de un indicador de cristal líquido (célula de rotación)
1 *Polarizador,* 2 *Vidrio,* 3 *Orientación y aislamiento,* 4 *Electrododos,* 5 *Polarizador (y reflector).* a *Zona de segmento*



Diodos luminosos

La indicación de diodos luminosos o LED (Light Emitting Diode) es una indicación activa (luminosa por sí misma). El diodo luminoso consta de un elemento semiconductor con unión PN. Durante el funcionamiento en dirección de paso los portadores de carga se recombinan (electrones libres y agujeros). La cantidad de energía así liberada es transformada en algunos semiconductores en energía de radiación electromagnética.

Materiales semiconductores utilizados a menudo son: arsenito de galio (/infrarrojo), arsenuro fosfuro de galio (de rojo hasta amarillo), fosfuro de galio (verde).

Matemáticas

Signos matemáticos

≈	casi igual, aprox.
≪	mucho menor que
≫	mucho mayor que
≙	corresponde a
...	etcétera, hasta
=	igual a
≠	no es igual a
<	menor que
≤	menor o igual que
>	mayor que
≥	mayor o igual que
+	más
−	menos
·	o bien × multiplicado
—	o bien / partido por
	o bien : dividido por
Σ	suma
Π	producto
~	proporcional
√	raíz de ($\sqrt[n]{}$ raíz enésima de)
$n!$	factorial n (p. ej., 3! = 1.2.3 = 6)
$\lvert x\rvert$	valor absoluto de x
→	se acerca a, tiende a
∞	infinito
i o j	unidad imaginaria, $i^2 = -1$
⊥	perpendicular a
∥	paralelo a
∢	ángulo
△	triángulo
lim	límite (valor lím.)
Δ	delta (difer. entre 2 valores)
d	diferencia total
δ	diferencia parcial
∫	integral
ln	logaritmo de base e[1]
lg	logaritmo de base 10

Números utilizados con frecuencia

e	= 2,718282[1]	$\sqrt{\pi}$	= 1,77245
e^2	= 7,389056	$1/\pi$	= 0,31831
$1/e$	= 0,367879	π^2	= 9,86960
$\lg e$	= 0,434294	$180/\pi$	= 57,29578
$\sqrt{e}$	= 1,648721	$\pi/180$	= 0,017453
$1/\lg e$	= 2,302585	$\sqrt{2}$	= 1,41421
$\ln 10$	= 2,302585	$1/\sqrt{2}$	= 0,70711
$1/\ln 10$	= 0,434294	$\sqrt{3}$	= 1,73205
π	= 3,14159		

Sistemas de numeración

Se utilizan para representar números mediante una cantidad de símbolos (cifras) menor que la cantidad de unidades individuales que describen. Para ello es necesario representar de forma agrupada varios elementos mediante un símbolo (cifra).

A diferencia de los sistemas aditivos, en los sistemas de posición utilizados hoy en día el tamaño de los agrupamientos (cantidad de elementos que representan) está escalonado uniformemente. La posición de la cifra dentro del número determina la cantidad de elementos que representa. En un sistema de posición, el tamaño del primer agrupamiento es la base del sistema de numeración. Es igual a la cantidad de símbolos diferentes que se utilizan para representar los números.

Habitualmente se utiliza el sistema decimal, de base 10. En Informática también se utilizan el sistema binario, de base 2 (cifras 0 y 1), y el sistema hexadecimal, de base 16 (cifras 0 a 9 y A a F).

Un número real a se representa en el sistema de posición mediante

$$a = \sum_{i=-\infty}^{\infty} Z_i \cdot B^i$$

donde: i es la posición; B, la base; Z_i, números naturales es $(0 < Z_i < B)$ en la posición i

Sistema romano de numeración (sistema aditivo)	Sistema decimal (base 10)	Sistema binario (base 2)
I	1	1
X	10	1010
C	100	1100100
M	1000	1111100110
II	2	10
V	5	101
L	50	110010
D	500	111110010
MCMLXXVII	≙ 1977	11110111001

(Si en el sistema romano hay un signo menor delante de otro mayor, entonces es substraído)

[1] $e = 1 + 1/1! + 1/2! + 1/3! + \ldots$
(Base de los logaritmos naturales)

Números normalizados

Los números normalizados son elementos redondeados de las progresiones geométricas que se forman con la razón (relación de un elemento con el precedente);

Serie	R 5	R 10	R 20	R 40
Razón	$\sqrt[5]{10}$	$\sqrt[10]{10}$	$\sqrt[20]{10}$	$\sqrt[20]{10}$

Se utilizan para la selección y escalonado de magnitudes y medidas. La DIN 323, además de las series básicas, contiene también la serie especial R80 y series de valores redondeados.

Los valores nominales de los componentes eléctricos tales como resistencias y condensadores se escalonan según la serie E:

Serie	E 6	E 12	E 24
Razón	$\sqrt[6]{10}$	$\sqrt[12]{10}$	$\sqrt[24]{10}$

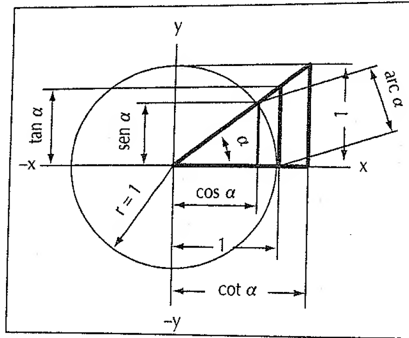
Números normalizadas (DIN 323)

Series básicas				Valores exactos	lg
R 5	**R 10**	**R 20**	**R 40**		
1,00	1,00	1,00	1,00	1,0000	0,0
			1,06	1,0593	0,025
		1,12	1,12	1,1220	0,05
			1,18	1,1885	0,075
	1,25	1,25	1,25	1,2589	0,1
			1,32	1,3335	0,125
		1,40	1,40	1,4125	0,15
			1,50	1,4962	0,175
1,60	1,60	1,60	1,60	1,5849	0,2
			1,70	1,6788	0,225
		1,80	1,80	1,7783	0,25
			1,90	1,8836	0,275
	2,00	2,00	2,00	1,9953	0,3
			2,12	2,1135	0,325
		2,24	2,24	2,2387	0,35
			2,36	2,3714	0,375
2,50	2,50	2,50	2,50	2,5119	0,4
			2,65	2,6607	0,425
		2,80	2,80	2,8184	0,45
			3,00	2,9854	0,475
	3,15	3,15	3,15	3,1623	0,5
			3,35	3,3497	0,525
		3,55	3,55	3,5481	0,55
			3,75	3,7584	0,575
4,00	4,00	4,00	4,00	3,9811	0,6
			4,25	4,2170	0,625
		4,50	4,50	4,4668	0,65
			4,75	4,7315	0,675
	5,00	5,00	5,00	5,0119	0,7
			5,30	5,3088	0,725
		5,60	5,60	5,6234	0,75
			6,00	5,9566	0,775
6,30	6,30	6,30	6,30	6,3096	0,8
			6,70	6,6834	0,825
		7,10	7,10	7,0795	0,85
			7,50	7,4989	0,875
	8,00	8,00	8,00	7,9433	0,9
			8,50	8,4140	0,925
		9,00	9,00	8,9125	0,95
			9,50	9,4409	0,975
10,0	10,0	10,0	10,0	10,0000	1,0

Series E (DIN 41 426)

E 6	E 12	E 24
1,0	1,0	1,0
		1,1
	1,2	1,2
		1,3
1,5	1,5	1,5
		1,6
	1,8	1,8
		2,0
2,2	2,2	2,2
		2,4
	2,7	2,7
		3,0
3,3	3,3	3,3
		3,6
	3,9	3,9
		4,3
4,7	4,7	4,7
		5,1
	5,6	5,6
		6,2
6,8	6,8	6,8
		7,5
	8,2	8,2
		9,1
10,0	10,0	10,0

Funciones trigonométricas



φ =	$\pm\alpha$	$90 \pm \alpha$	$180 \pm \alpha$	$270 \pm \alpha$
sen φ =	$\pm$ sen α	cos α	$\mp$ sen α	$-$ cos α
cos φ =	$+$ cos α	$\mp$ sen α	$-$ cos α	$\pm$ sen α
tan φ =	$\pm$ tan α	$\mp$ cot α	$\pm$ tan α	$\mp$ cot α
cot φ =	$\pm$ cot α	$\mp$ tan α	$\pm$ cot α	$\mp$ tan α

Seno α = Cateto opuesto/hipotenusa
coseno α = Cateto adyacente/hipotenusa
tangente α = Cateto opuesto/cateto adyacente
cotangente α = Cateto adyacente/cateto opuesto
Arco α = $\hat{\alpha}$ Medida del arco de α en el círculo de radio 1.

sen 0° = cos 90° = 0
cos 0° = sen 90° = 1
tan 0° = cot 90° = 0
cot 0° = tan 90° = ∞
sen 30° = cos 60° = 0,5
cos 30° = sen 60° = $0{,}5\sqrt{3}$
tan 30° = cot 60° = $\sqrt{3}/3$
cot 30° = tan 60° = $\sqrt{3}$

$$\hat{\alpha} = \text{arc}\ \alpha = \frac{\pi \cdot \alpha}{180°}\text{rad} = \frac{\alpha}{57{,}3°}$$

$$\hat{1}° = \text{arc}\ 1° = \frac{\pi}{180} = 0{,}017453$$

arc 57,3° = 1

$$\cos^2\alpha + \text{sen}^2\alpha = 1$$

$$\tan\alpha = \frac{\text{sen}\ \alpha}{\cos\alpha} = \frac{1}{\cot\alpha}$$

$$1 + \tan^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha}$$

$$1 + \cot^2\alpha = \frac{1}{\text{sen}^2\alpha}$$

$$\text{sen}\,\alpha \approx \hat{\alpha} - \frac{\hat{\alpha}^3}{6}$$

Error < 1% para $\alpha < 58°$

sen $\alpha \approx \hat{\alpha}$
Error < 1% para $\alpha < 14°$

$$\cos\alpha \approx 1 - \frac{\hat{\alpha}^2}{2}$$

Error < 1% para $\alpha < 37°$

cos $\alpha \approx 1$
Error < 1% para $\alpha < 8°$

$$\text{sen}\ 2\alpha = 2\ \text{sen}\ \alpha \cdot \cos\alpha$$
$$\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \text{sen}^2\alpha$$
$$\tan 2\alpha = 2/(\cot\alpha - \tan\alpha)$$
$$\cot 2\alpha = (\cot\alpha - \tan\alpha)/2$$
$$\text{sen}\ 3\alpha = 3\ \text{sen}\ \alpha \cdot 4\ \text{sen}^3\alpha$$
$$\cos 3\alpha = 4\cos^3\alpha - 3\cos\alpha$$

$$\text{sen}\,(\alpha \pm \beta) = \text{sen}\ \alpha \cdot \cos\beta \pm \cos\alpha \cdot \text{sen}\ \beta$$
$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha \cdot \cos\beta \mp \text{sen}\ \alpha \cdot \text{sen}\ \beta$$
$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan\alpha \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\alpha\ \tan\beta}$$
$$\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot\alpha \cdot \cot\beta \mp 1}{\cot\beta \mp \cot\alpha}$$

$$\text{sen}\ \alpha \pm \text{sen}\ \beta = 2\ \text{sen}\frac{\alpha \pm \beta}{2} \cdot \cos\frac{\alpha \mp \beta}{2}$$
$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2} \cdot \frac{\alpha-\beta}{2}$$
$$\cos\alpha - \cos\beta = -2\ \text{sen}\frac{\alpha+\beta}{2} \cdot \text{sen}\ \frac{\alpha-\beta}{2}$$
$$\tan\alpha \pm \tan\beta = \frac{\text{sen}\,(\alpha \pm \beta)}{\cos\alpha \cdot \cos\beta}$$
$$\cot\alpha \pm \cot\beta = \frac{\text{sen}\,(\alpha \pm \beta)}{\text{sen}\ \alpha \cdot \text{sen}\ \beta}$$

Fórmula de Euler
(Fundamento del cálculo simbólico):

$$e^{\pm ix} = \cos x \pm i\ \text{sen}\ x$$

$$\text{sen}\ x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i};\ \cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$

donde $i = \sqrt{-1}$

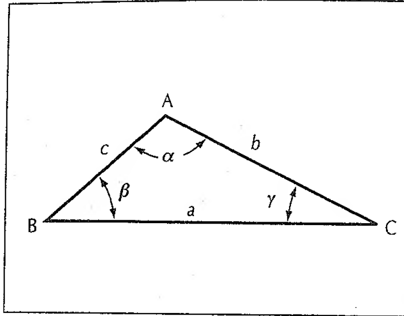
Funciones circulares

°	arc α	sen α	tan α	cot α	inv α(1)	cos α	–	–
0	0,0000	0,0000	0,0000	∞	0,00000	1,0000	1,5708	**90**
1	175	175	175	57,290	00	0,9998	533	**89**
2	349	349	349	28,636	01	94	359	**88**
3	524	523	524	19,081	05	86	184	**87**
4	698	698	699	14,301	11	76	010	**86**
5	873	872	875	11,430	22	62	1,4835	**85**
6	0,1047	0,1045	0,1051	9,514	38	45	661	**84**
7	222	219	228	8,144	61	25	486	**83**
8	396	392	405	7,115	91	03	312	**82**
9	571	564	584	6,314	0,00130	0,9877	137	**81**
10	745	736	763	5,671	79	48	1,3963	**80**
11	920	908	944	5,145	0,00239	16	788	**79**
12	0,2094	0,2079	0,2126	4,705	0,00312	0,9781	614	**78**
13	269	250	309	4,331	97	44	439	**77**
14	443	419	493	4,011	0,00498	03	265	**76**
15	618	588	679	3,732	615	659	090	**75**
16	793	756	867	487	749	613	1,2915	**74**
17	967	924	0,3057	271	902	563	741	**73**
18	0,3142	0,3090	249	078	0,01076	511	566	**72**
19	316	256	443	2,904	271	455	392	**71**
20	491	420	640	747	490	397	217	**70**
21	665	584	839	605	734	336	043	**69**
22	840	746	0,4040	475	0,02005	272	1,1868	**68**
23	0,4014	907	245	356	305	205	694	**67**
24	189	0,4067	452	246	635	135	519	**66**
25	363	226	663	145	998	063	345	**65**
26	538	384	877	050	0,03395	0,8988	170	**64**
27	712	540	0,5095	1,963	829	910	1,0996	**63**
28	887	695	317	881	0,04302	829	821	**62**
29	0,5061	848	543	804	816	746	647	**61**
30	236	0,5000	774	732	0,05375	660	472	**60**
31	411	150	0,6009	664	981	572	297	**59**
32	585	299	249	600	0,06636	480	123	**58**
33	760	446	494	540	0,07345	387	0,9948	**57**
34	934	592	745	483	0,08110	290	774	**56**
35	0,6109	736	0,7002	428	934	192	599	**55**
36	283	878	265	376	0,09822	090	425	**54**
37	458	0,6018	536	327	0,1078	0,7986	250	**53**
38	632	157	813	280	181	880	076	**52**
39	807	293	0,8098	235	291	771	0,8901	**51**
40	981	428	391	192	410	660	727	**50**
41	0,7156	561	693	150	537	547	552	**49**
42	330	691	0,9004	111	674	431	378	**48**
43	505	820	325	072	820	314	203	**47**
44	679	947	657	036	977	193	029	**46**
45	854	0,7071	1,0000	1,000	0,2146	071	0,7854	**45**
–	–	cos α	cot α	tan α	–	sen α	arc α	°

(1) Función envolvente inv α = tan α – arc α.

Ecuaciones (fórmulas) para el triángulo plano y esférico

Triángulo plano

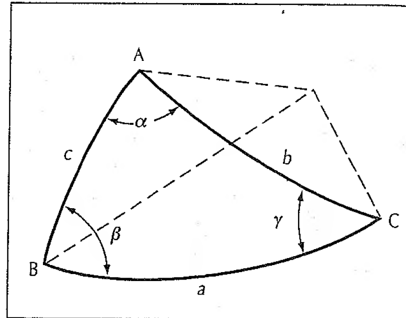


$\alpha + \beta + \gamma = 180°$

Teorema del seno
$a : b : c = \text{sen}\ \alpha : \text{sen}\ \beta : \text{sen}\ \gamma$

Teorema de Pitágoras (Teorema del coseno)
$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$
Para el triángulo rectángulo
$a^2 = b^2 + c^2$

Triángulo esférico



Teorema del seno
$\text{sen}\ a : \text{sen}\ b : \text{sen}\ c = \text{sen}\ \alpha : \text{sen}\ \beta : \text{sen}\ \gamma$

Teorema del coseno para los lados
$\cos a = \cos b \cos c + \text{sen}\ b\ \text{sen}\ c \cos \alpha$

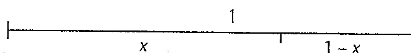
Teorema del coseno para los ángulos
$\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \text{sen}\ \beta\ \text{sen}\ \gamma \cos a$

Ecuaciones utilizadas a menudo

Solución de la ecuación de segundo grado
$ax^2 + bx + c = 0$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Segmento áureo (división permanente)
$1 : x = x : (1 - x)$, de aquí $x = 0{,}618$



Conversión de logaritmos
$\lg N = 0{,}434294 \cdot \ln N$
$\ln N = 2{,}302585 \cdot \lg N$

Serie logarítmica
$a + aq + aq^2 + aq^3 + \ldots$
El término n-ésimo $= aq^{n-1}$

para $q > 1$: $\sum_n = a(q^n - 1)/(q - 1)$

para $q < 1$: $\sum_n = a(1 - q^n)/(1 - q)$

para $n \to \infty$ será $q^n = 0$

$\sum_{n \to \infty} = a/(1 - q)$

Progresión o serie aritmética
$a + (a + d) + a + 2d) + (a + 3d) + \ldots$
Término enésimo $= a + (n - 1)d$

$\sum_n = \frac{n}{2}[2a + (n - 1)d]$

Potencias, perímetros, superficies, logaritmos naturales

n	n^2	n^3	$\ln n$	πn	$\pi n^2/4$	n	n^2	n^3	$\ln n$	πn	$\pi n^2/4$
1	1	1	0,000	3,142	0,785	**51**	2601	132651	3,932	160,2	2043
2	4	8	0,693	6,283	3,145	**52**	2704	140608	3,951	163,4	2124
3	9	27	1,099	9,425	7,069	**53**	2809	148877	3,970	166,5	2206
4	16	64	1,386	12,57	12,57	**54**	2916	157464	3,989	169,6	2290
5	25	125	1,609	15,71	19,63	**55**	3025	166375	4,007	172,8	2376
6	36	216	1,792	18,85	28,27	**56**	3136	175616	4,025	175,9	2463
7	49	343	1,946	21,99	38,48	**57**	3249	185193	4,043	179,1	2552
8	64	512	2,079	25,13	50,27	**58**	3364	195112	4,060	182,2	2642
9	81	729	2,197	28,27	63,62	**59**	3481	205379	4,078	185,4	2734
10	100	1000	2,303	31,42	78,54	**60**	3600	216000	4,094	188,5	2827
11	121	1331	2,398	34,56	95,03	**61**	3721	226981	4,111	191,6	2922
12	144	1728	2,485	37,70	113,1	**62**	3844	238328	4,127	194,8	3019
13	169	2197	2,565	40,84	132,7	**63**	3969	250047	4,143	197,9	3117
14	196	2744	2,639	43,98	153,9	**64**	4096	262144	4,159	201,1	3217
15	225	3375	2,708	47,12	176,7	**65**	4225	274625	4,174	204,2	3318
16	256	4096	2,773	50,27	201,1	**66**	4356	287496	4,190	207,3	3421
17	289	4913	2,833	53,41	227,0	**67**	4489	300763	4,205	210,5	3526
18	324	5832	2,890	56,55	254,5	**68**	4624	314432	4,220	213,6	3632
19	361	6859	2,944	59,69	283,5	**69**	4761	328509	4,234	216,8	3739
20	400	8000	2,996	62,83	314,2	**70**	4900	343000	4,248	219,9	3848
21	441	9261	3,044	65,97	346,4	**71**	5041	357911	4,263	223,1	3959
22	484	10648	3,091	69,11	380,1	**72**	5184	373248	4,277	226,2	4072
23	529	12167	3,135	72,26	415,5	**73**	5329	389017	4,290	229,3	4185
24	576	13824	3,178	75,40	452,4	**74**	5476	405224	4,304	232,5	4301
25	625	15625	3,219	78,54	490,9	**75**	5625	421875	4,317	235,6	4418
26	676	17576	3,258	81,68	530,9	**76**	5776	438976	4,331	238,8	4536
27	729	19683	3,296	84,82	572,6	**77**	5929	456533	4,344	241,9	4657
28	784	21952	3,332	87,96	615,8	**78**	6084	474552	4,357	245,0	4778
29	841	24389	3,367	91,11	660,5	**79**	6241	493039	4,369	248,2	4902
30	900	27000	3,401	94,25	706,9	**80**	6400	512000	4,382	251,3	5027
31	961	29791	3,434	97,39	754,8	**81**	6561	531441	4,394	254,5	5153
32	1024	32768	3,466	100,5	804,2	**82**	6724	551368	4,407	257,6	5281
33	1089	35937	3,497	103,7	855,3	**83**	6889	571787	4,419	260,8	5411
34	1156	39304	3,526	106,8	907,9	**84**	7056	592704	4,431	263,9	5542
35	1225	42875	3,555	110,0	962,1	**85**	7225	614125	4,443	267,0	5675
36	1296	46656	3,584	113,1	1018	**86**	7396	636056	4,454	270,2	5809
37	1369	50653	3,611	116,2	1075	**87**	7569	658503	4,466	273,3	5945
38	1444	54872	3,638	119,4	1134	**88**	7744	681472	4,477	276,5	6082
39	1521	59319	3,664	122,5	1195	**89**	7921	704969	4,489	279,6	6221
40	1600	64000	3,689	125,7	1257	**90**	8100	729000	4,500	282,7	6362
41	1681	68921	3,714	128,8	1320	**91**	8281	753571	4,511	285,9	6504
42	1764	74088	3,738	131,9	1385	**92**	8464	778688	4,522	289,0	6648
43	1849	79507	3,761	135,1	1452	**93**	8649	804357	4,533	292,2	6793
44	1936	85184	3,784	138,2	1521	**94**	8836	830584	4,543	295,3	6940
45	2025	91125	3,807	141,4	1590	**95**	9025	857375	4,554	298,5	7088
46	2116	97336	3,829	144,5	1662	**96**	9216	884736	4,564	301,6	7238
47	2209	103823	3,850	147,7	1735	**97**	9409	912673	4,575	304,7	7390
48	2304	110592	3,871	150,8	1810	**98**	9604	941192	4,585	307,9	7543
49	2401	117649	3,892	153,9	1886	**99**	9801	970299	4,595	311,0	7698
50	2500	125000	3,912	157,1	1963	**100**	10000	1000000	4,605	314,2	7854

Superficies

Clase de superficie	Área A $\pi = 3{,}1416$
Triángulo	$A = \frac{a \cdot h}{2}$
Trapecio	$A = \frac{a + b}{2} h$
Paralelogramo	$A = a \cdot h = a \cdot b \cdot \text{sen } \gamma$
Círculo	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0{,}785 d^2$ Perímetro $U = \pi \cdot d$ V. tabla pág. 147
Corona circular	$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{2}(D + d) b$
Sector circular φ en grados	$A = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \varphi}{360°} = 8{,}73 \cdot 10^{-3} \cdot r^2 \cdot \varphi$ Long. arco $l = \frac{\pi \cdot r \cdot \varphi}{180°} = 1{,}75 \cdot 10^{-2} \cdot r \cdot \varphi$
Segmento circular φ en grados	$A = \frac{r^2}{2}\left(\frac{\pi \cdot \varphi}{180°} - \text{sen}\varphi\right) \approx h \cdot s\left[0{,}667 + 0{,}5\left(\frac{h}{s}\right)^2\right]$ Long. cuerda $s = 2r \cdot \text{sen}\frac{\varphi}{2}$ Flecha $h = r\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{s}{2}\tan\frac{\varphi}{4} = 2r \cdot \text{sen}^2\frac{\varphi}{4}$
Hexágono	$A = \frac{\sqrt{3}}{2} s^2 = 0{,}866 s^2$ Medida entre vértices $e = \frac{2s}{\sqrt{3}} = 1{,}155 s$
Elipse	$A = \pi \cdot D \cdot d/4 = 0{,}785 D \cdot d$ Perím. $U \approx 0{,}75\pi(D + d) - 0{,}5\pi\sqrt{D \cdot d}$
Regla de Guldin para las superficies Centro de gravedad Eje de giro	El volumen de una superficie de revolución es igual a la longitud l de la línea generatriz multiplicada por el trayecto recorrido por su centro de gravedad. $A = 2\pi \cdot r \cdot l$

Volumen y superficie de los cuerpos

Clase de cuerpo	Volumen V, Superficie S, Superficie lateral M $\pi = 3{,}1416$
Cilindro	$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} h = 0{,}785 d^2 \cdot h$ $M = \pi \cdot d \cdot h,\ S = \pi \cdot d(d/2 + h)$
Pirámide A Área base h Altura	$V = \frac{1}{3} A \cdot h$
Cono	$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{12} = 0{,}262 d^2 \cdot h$ $M = \frac{\pi \cdot d \cdot s}{2} = \frac{\pi \cdot d}{4}\sqrt{d^2 + 4h^2} = 0{,}785 d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2}$
Tronco de cono	$V = \frac{\pi \cdot h}{12}(D^2 + D \cdot d + d^2) = 0{,}262 h(D^2 + D \cdot d + d^2)$ $M = \frac{\pi(D + d)s}{2} \quad s = \sqrt{\frac{(D - d)^2}{4} + h^2}$
Esfera	$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6} = 0{,}524 d^3$ $S = \pi \cdot d^2$
Segmento esférico (casquete)	$V = \frac{\pi \cdot h}{6}(3a^2 + h^2) = \frac{\pi \cdot h^2}{3}(3r - h)$ $M = 2\pi \cdot r \cdot h = \pi(a^2 + h^2)$
Sector esférico	$V = \frac{2\pi \cdot r^2 \cdot h}{3} = 2{,}094 r^2 \cdot h$ $S = \pi \cdot r(2h + a)$
Corona esférica (rebanada esférica) r Radio esfera	$V = \frac{\pi \cdot h}{6}(3a^2 + 3b^2 + h^2)$ $M = 2\pi \cdot r \cdot h$
Anillo cilíndrico Toro	$V = \frac{\pi^2}{4} D \cdot d^2 = 2{,}467 D \cdot d^2$ $S = \pi^2 \cdot D \cdot d = 9{,}870 D \cdot d$
Elipsoide d_1, d_2, d_3 long. de los ejes	$V = \frac{\pi}{6} d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 = 0{,}524 d_1 \cdot d_2 \cdot d_3$
Barril cir. D diám. en el centro d diám. del fondo h dist. entre tapas	$V \approx \frac{\pi \cdot h}{12}(2D^2 + d^2) \approx 0{,}26 h(2D^2 + d^2)$
Regla de Guldin para cuerpos Centro grav. Eje giro	El volumen de un cuerpo de revolución es igual a la superficie generatriz A multiplicada por el trayecto recorrido por el centro de gravedad $V = 2\pi \cdot r \cdot A$

Calidad

La calidad se define como el grado en que se cumplen los deseos de los clientes e incluso se superan. El valor predeterminado para la calidad lo establece el cliente. Mediante sus exigencias y sus expectativas determina lo que es calidad, ya sea en productos o en servicios. Puesto que la competencia hace que las expectativas de los clientes sean cada vez mayores, la calidad se convierte en una magnitud dinámica. Para su descripción se utilizan magnitudes características referidas al producto o servicio. Las premisas para lograr alta calidad son:
Política de calidad: voluntad empresarial de fijar la calidad como uno de los objetivos máximos de la empresa.
Dirección de los colaboradores: medidas para la motivación de los colaboradores.
Mantenimiento de la calidad.

Control de calidad

Sistema de control de calidad

Todos los elementos de un sistema de control de calidad y todas las medidas de mantenimiento de la misma deben ser planificados sistemáticamente. Las diferentes responsabilidades, competencias y funciones deben ser fijadas por escrito (Libro de control de calidad). También hay normas internacionales, como p.ej. DIN-ISO 9001 a 9004 que describen sistemas de aseguramiento de la calidad.

Exigencias cada vez mayores para la ausencia de fallos en los productos (meta de cero defectos) y argumentos económicos (evitar fallos en vez de seleccionar desechar) obligan al uso de medidas preventivas que aseguren la calidad.
Éstas tienen las siguientes metas:
– desarrollar productos insensibles a variaciones en la fabricación,
– instalar procesos de fabricación que cumplan con seguridad las exigencias de calidad dentro de los límites admitidos,
– aplicar métodos que reconozcan inmediatamente el origen de los fallos e intervengan a tiempo regulando el proceso de fabricación.

Para la supervisión regular de todos los elementos de un sistema de control de calidad se utilizan tres tipos de auditorías:
– auditoría del sistema: evaluación de la eficacia del sistema de control de calidad con relación a su integridad y a la aplicación de sus diferentes elementos,
– auditoría de procesos: evaluación de la eficacia de los elementos del control de calidad, confirmación de la suficiencia de la calidad, del cumplimiento y conveniencia de determinados procedimientos y la indagación de medidas de perfeccionamiento,
– auditoría de producto: evaluación de la eficacia de los elementos del control de calidad mediante el análisis de productos acabados o de sus componentes.

Control de calidad en el desarrollo

Al comienzo del desarrollo de un nuevo producto que debe cumplir las características esperadas por el cliente en cuanto a calidad y fiabilidad, está el pliego o cuaderno de condiciones.

Partiendo de su contenido, ya se planifican en su fase de definición todos los ensayos de muestras y de funcionamiento continuo que sean necesarios para la certificación de la aptitud de funcionamiento y fiabilidad del nuevo producto.

Calificación de la calidad
Al terminarse ciertos pasos del desarrollo se someten todas las informaciones sobre calidad y fiabilidad hasta aquel momento disponibles, a una evaluación de la calidad y se toman, si es preciso, medidas correctoras. Los colaboradores del mantenimiento de la calidad, de la preparación de la fabricación y su desarrollo, con el apoyo de los especialistas de los departamentos del ramo, son los encargados de realizar la evaluación de la calidad.

Análisis de posibilidades e influencias de fallos (análisis modal de fallos FMEA)

Este procedimiento para evitar riesgos y reducir costes se presta para el análisis de los tipos de fallos de componentes de sistemas y de sus consecuencias (ver detalles en "Fiabilidad", pág. 164)

Control de calidad en el aprovisionamiento

No deben limitarse al control de calidad en la recepción de materiales, sino que representa todo un sistema. Debe asegurar que los componentes recibidos del proveedor

Ejemplo para un análisis modal de fallos (FMEA)

BOSCH Mantenimiento de la calidad		FMEA Elemento de ajuste 9 319 150 342 Parte 6ª: fabricación pieza y montaje fijador casquillo						DEPTO. FMEA PÁG. FECHA		FVB 75 1289940001 10 10.10.88		
NR.	COMPONENTE PROCESO	FUNCIÓN FINALIDAD	TIPO DE FALLO	EFECTO DEL FALLO	CAUSAS DEL FALLO	COMO EVITAR EL FALLO	DETECCIÓN DEL FALLO	S S	– A	E E	SxE RZ	MEDIDAS V:/T:
1110	Montaje fijador casquillo	Preparar piezas para proceso de soldadura	Daños en la superficie impermeable	Elemento de ajuste no hermético hacia afuera → vapores de gasolina en el espacio del motor	Virutas y partículas en el dispositivo de montaje	Lavado antes del montaje, limpieza periódica de los útiles	100% Control visual de la soldadura; control de la superficie: 100% control visual antes del embalaje	10	2	1	20	
1180	Soldadura fijador casquillo	Sujeción conjunta de las piezas	Pieza no soldada		Falta de soldadura	Comprobar avance de la soldadura	100% Control visual de la soldadura; 100% Control de la superficie; 100% Control de la hermeticidad	10 (10	2 2	2 1	40 20)	100% Control de la hermeticidad del componente fijador casquillo V: FVB2 T: 01.89
		Garantizar hermeticidad	Pieza no estanca (rechupe)		Demasiado poca soldadura	Comprobar avance de la soldadura	100% Control visual de la soldadura	10 (10	4 3	6 2	240 60)	100% Control de la hermeticidad V: FVB2 T: 01.89 + Mejora constructiva de la soldadura V: EVA3 T: 03.89

S = Gravedad del fallo A = Probabilidad de aparición E = Probabilidad de ser descubierto RZ = valor de riesgo = S x A x E
V = Responsabilidad T = Plazo de introducción

ayudan a cumplir fielmente las especificaciones técnicas del producto final.

La suficiencia de los proveedores para el suministro de productos de calidad debe estar garantizada por técnicas modernas del mantenimiento previsor de la calidad (p.ej. regulación estadística de procesos SPC o FMEA). Para que el proveedor pueda cumplir completamente con las exigencias de calidad y pueda llevar a cabo una calificación sin dudas del producto, deben de especificarse todas los requerimientos individuales del producto de forma inequívoca. Esto normalmente se hace mediante planos, normas de pedidos, normas, instrucciones, etc.

P.ej. el fabricante que entrega un producto efectúa él mismo una primera comprobación. Sin embargo debe ser verificado y confirmado por la recepción de materiales del comprador del producto (en especial en combinación con sus procesos de fabricación y con el producto final).

La comprobación final o de salida del proveedor contratado puede sustituir la de recepción del cliente, si aquél posee conocimientos especiales y solo él está en condiciones de llevar a cabo el control de calidad de su equipo técnico. El proveedor confirma en certificados de control de calidad según DIN 55 350 o certificados de comprobación de materiales según DIN 50 049 de las correspondientes a la calidad de los productos. Los resultados de las pruebas los debe comunicar al comprador.

Control de calidad en la preparación de la fabricación

La planificación de la fabricación procura la obtención de una calidad asegurada. Deben cumplirse los siguientes puntos:
- planificación de las secuencias de fabricación y del flujo de material,
- planificación del utillaje necesario para fabricación,
- selección y obtención de los procedimientos e instalaciones indicados de fabricación así como también de los correspondientes lugares de medición (p.ej. para SPC).
- análisis de los procesos de fabricación y de los equipos y máquinas en cuanto a su aptitud para el proceso,
- documentación de las secuencias de fabricación en el plan de trabajo,
- determinación de la cualificación de los colaboradores,
- puesta a disposición de los datos de planos y listas de piezas.

Los posibles fallos en el proceso de fabricación se pueden descubrir de antemano de forma metódica mediante un FMEA de proceso, calificando sus repercusiones en la calidad de la marca o del producto. El FMEA de proceso se presta al reconocimiento de fuentes de fallos y a evitarlos o reducir sus efectos. De esta forma se fijan las medidas necesarias en la fabricación y en la comprobación para evitar fallos.

Grupo de trabajo FMEA

Campo de la función	FMEA de producto	FMEA de proceso	Aporte al FMEA
Moderador del FMEA			Coordinación métodos
Construcción (V= responsabilidad)			Construcción
Ensayo			Cumplimiento de la función
Pruebas continuadas			Durabilidad a la fatiga Resistencia climática
Venta técnica			Pliego de condiciones
Servicio técnico			Servicio técnico
Preparación fabricación (V= responsabilidad)			Aptitud fabricación y comprobación métodos
Sistema de calidad			Mantenimiento calidad y fiabilidad
Ejecución fabricación			Ejecución fabricación
Gestión de material			Referencias ajenas
Otros			

La planificación de las comprobaciones comprende los siguientes puntos:
- Análisis de las funciones a ser comprobadas.
- Determinación de las características de comprobación.
- Selección de los métodos y medios de comprobación apropiados.
- Determinación del alcance y frecuencia de la comprobación.
- Documentación de los pasos del proceso en el plan de comprobación.
- Planificación del registro y de la documentación de los datos de calidad (p.ej. en planos de regulación de la calidad para SPC).
- Planificación de la comprobación de los medios de control.
- Planificación eventual de una documentación de datos de calidad.

Básicamente los criterios de comprobación deben abarcar todas las características de los productos fabricados.

Para la evaluación de la calidad de productos o partes de ellos y para la regulación de los procesos de fabricación hay que prever un registro y una evaluación apropiados de los resultados de comprobación. Los valores comprobados deberían ser resumidos de tal forma que sean apropiados para la regulación o mando del proceso, para el análisis de fallos y la corrección de los mismos.

Aptitud de máquinas y procesos

El análisis de la aptitud de las máquinas debe aportar las certificaciones siguientes:
- La máquina a analizarse debe producir con una regularidad perceptible. En su caso esta regularidad se formula mediante magnitudes características estadísticas, p.ej. como distribución normal con valor medio $\bar{x}$ y desviación estándar s.
- La máquina debe estar en condiciones de producir dentro de tolerancias predeterminadas. Esta comprobación solamente puede hacerse con la regularidad antes mencionada.

La aptitud de la máquina es un examen a corto plazo; solamente deben analizarse influencias condicionadas a la máquina sobre el proceso de fabricación. Pero hay que considerar que una separación completa de influencias debidas a la máquina y no debidas a la misma (p.ej. influencias del material o de los métodos) generalmente no es posible. Individualmente se analiza si
- son reconocibles secuencias raras de resultados,
- los valores medios y la dispersión de la serie de mediciones son estables (en este examen se aplican los límites de control de la regulación estadística del proceso).

Si no hay series inusuales de resultados y los valores medios y la dispersión son estables, es que se domina el proceso; la aptitud de la máquina se describe entonces mediante los conocidos valores estadísticos característicos c_m o c_{mk}. El valor c_m sólo considera la dispersión de la máquina y se calcula con la siguiente fórmula:

$$c_m = (OGW - UGW)/(6 \cdot \hat{\sigma})$$

Por otro lado, el valor característico c_{mk} considera además de la dispersión de la máquina, el valor medio dentro de la tolerancia. Su cálculo es indispensable en instalaciones de fabricación, que no son regulables o sólo deficientemente. Se calcula como sigue:

$$c_{mk} = (\bar{\bar{x}} - UGW)/(3 \cdot \hat{\sigma}) \text{ o bien}$$

$$c_{mk} = (OGW - \bar{\bar{x}})/(3 \cdot \hat{\sigma})$$

Donde se toma el valor menor. Su significado es:

$\bar{\bar{x}}$ valor medio total
UGW valor límite inferior de la tolerancia
OGW valor límite superior de la tolerancia
$\hat{\sigma}$ valor estimado para la regulación del proceso

Bosch sólo define una instalación de fabricación como apta para fabricar con seguridad la característica exigida a un producto, cuando el valor mínimo c_{mk} es de 1,67.

Si se presentan series de resultados inusuales o los valores medios y la dispersión son inestables, significa que el proceso no está totalmente controlado. En este caso hay influencias no casuales (interferencias) en el proceso, que deben ser eliminadas o compensadas. Después se repite el análisis de aptitud de la máquina.

Si el análisis de aptitud de la máquina transcurre positivamente, entonces se efectúa posteriormente el análisis de la aptitud

del proceso. El objetivo de este examen es la comprobación que el proceso de fabricación a analizar está en condiciones de cumplir de forma continuada las exigencias de calidad.

El examen de aptitud del proceso es un análisis de mayor duración. Se consideran e incorporan todos los cambios en el proceso (p.ej. cambios de material, del utillaje o de métodos) mediante determinación del alcance de las pruebas al azar y de los intervalos de comprobación.

Los datos obtenidos se examinan, de forma parecida a como se hace estadísticamente para la aptitud de máquina. Especialmente se prueba la estabilidad de los valores medios del proceso y su regulación, es decir si se domina el proceso. Si el proceso es dominado, entonces se certifica su aptitud mediante los valores característicos c_p y c_{pk}. El cálculo de dichos valores se efectúa de la misma manera que para los valores c_m y c_{mk}, tomando los valores $\bar{x}$ y $\hat{\sigma}$ del análisis de proceso.

Si el proceso no está totalmente controlado, entonces no se admite el cálculo de c_p y c_{pk}. En ese caso hay que eliminar o compensar la inestabilidad del proceso. Luego se repite el análisis de aptitud.

Bosch establece que un proceso asegura las características deseadas del producto solamente cuando c_{pr} es al menos 1,33. Los exámenes de aptitud de máquinas y procesos son análisis previos necesarios para la introducción de los SPC. Pero también ambos exámenes son importantes en procesos no controlados por SPC, porque la aptitud correspondiente debe ser certificada para todo tipo de procesos.

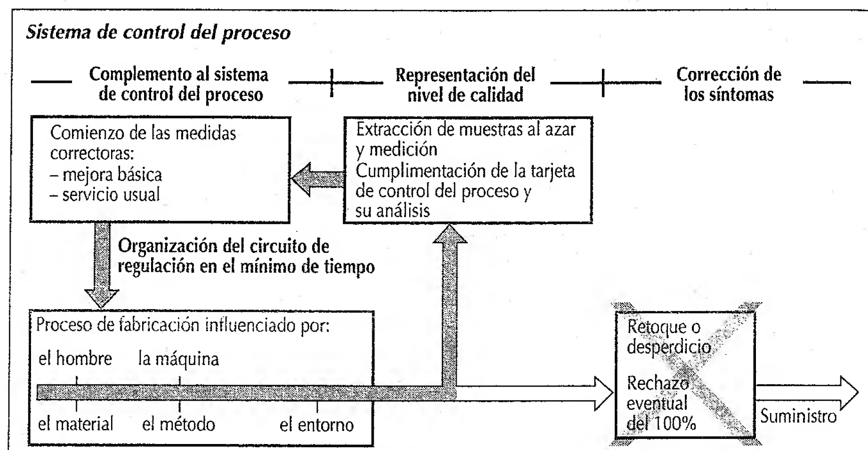
Control estadístico de procesos (SPC)

El SPC es un sistema de control de procesos destinado a ayudar a evitar fallos y sus correspondientes costes. El SPC se utiliza en fabricación y se aplica a las características funcionales importantes (ver detalles en "estadística técnica", pág. 160).

Medios de comprobación

Con los medios de comprobación tiene que poderse evaluar si las características de la prueba de los productos fabricados cumplen las especificaciones predeterminadas. Los medios de comprobación deben ser verificados, calibrados y sometidos a manutención. Al usarlos hay que tener en cuenta sus errores, que han de ser menores que la tolerancia en el valor de la comprobación. Para medios de comprobación hay que:

– Predeterminar las mediciones a efectuar, la exactitud que se precisa y los medios apropiados de medición.
– Asegurar que los medios de comprobación satisfagan la precisión necesaria; generalmente el error de medida no debe ser superior al 10% de la tolerancia.



– Hay que prescribir en el plan de comprobación todos los medios de examen y medición necesarios, así como su verificación y los intervalos de control.
– Especificar los procedimientos de calibración, incluyendo el tipo de dispositivo, identificación, área de aplicación, intervalo de calibración y los procedimientos a seguir en caso de resultados no satisfactorios.
– Marcar apropiadamente el medio de comprobación para certificar el estado de calibración.
– Llevar un registro (historial) de las calibraciones y mediones efectuadas.
– Aseguramiento de la creación de condiciones apropiadas para llevar a cabo las calibraciones, las comprobaciones y las mediciones,
– Los medios de comprobación deben ser almacenados y protegidos contra cualquier contaminación a fin de mantener grados de precisión coherentes y satisfactorios para su uso.
– Asegurar los medios de comprobación y programas (software) contra variaciones de cualquier tipo que pudieran invalidar los resultados de la calibración.

Tipo y amplitud de la supervisión de los medios de comprobación

La supervisión firme de los medios de comprobación se extiende a todos los sistemas de medición que se utilizan en el desarrollo, fabricación, montaje y servicio técnico. Abarca calibres, plantillas para medición, instrumentos, registradores de valores de medición, dispositivos especiales de comprobación y los programas (software) correspondientes de ordenadores. Además se supervisan también los dispositivos, sujeciones e instrumentos utilizados en la regulación del proceso.

Para controlar si se domina un proceso de medición sirven los procedimientos que abarquen a los equipos y las habilidades de las personas que los atienden. Desviaciones de las mediciones se comparan con los requerimientos de calidad. Cuando no se cumplen los requisitos de precisión y funcionamiento de los medios de comprobación, hay que aplicar medidas correctoras apropiadas.

Dispositivos de contraste obligado

En las relaciones comerciales, los dispositivos de medición que sirvan para determinar precio de venta de productos o de energía deben estar certificados oficialmente. Esta categoría incluye equipos para medir longitudes, áreas, volúmenes y masa, así como energía térmica y eléctrica. Si se dan estas circunstancias, los dispositivos deben estar contrastados por un órgano oficial o ser supervisados constantemente por un órgano oficial autorizado.

Relación entre resultados de medición, evaluación estadística y aptitud de proceso

Proceso	← Tolerancia T →	Estado	Aptitud proceso
Valores individuales	x x x x x x x x x x x x x x	Inseguro	no calculada
Análisis estadístico	σ	Resultado deficiente por dispersión demasiado grande	$C_p = \frac{T}{6\sigma} = 0{,}67$ 4,6% fuera de T
Requerimiento mínimo	σ	Resultado correcto, dispersión reducida Valor medio conservado	$C_p = 1{,}33$ 63 ppm fuera de T
Valor desplazado de la tolerancia media	σ D	Resultado malo a pesar de dispersión reducida	$C_p = 2{,}0$ pero $C_{pk} = \frac{D}{3\sigma} = 0{,}67$ es decir 2,3% fuera de T

Estadística técnica

Propósito de la estadística

1. Describir conjuntos de elementos de una misma clase, con valores característicos diferentes, mediante parámetros estadísticos que permiten su comparación y evaluación objetiva.
2. Predecir los parámetros estadísticos de conjuntos grandes de elementos (poblaciones) basándose en relativamente pocos datos individuales (muestras).

Puesto que tales predicciones se basan en las leyes del azar y el cálculo de probabilidades, su validez está siempre sujeta a un cierto nivel de confianza que en la técnica se prefija normalmente en el 95%.

Ejemplos de lotes:

– Todos los productos fabricados durante un determinado período de tiempo.
– El total de valores obtenidos en la determinación repetida de una magnitud bajo las mismas condiciones.

Existen dos tipos diferentes de valores caracterísitcos:

– Cuantitativos, p. ej. magnitudes físicas (referidos como "valores medidos").
– Caulitativos, o atributos, p. ej. "bueno" o "malo", etc. (referidos como "resultados de una prueba").

El análisis estadístico proporciona una valiosa ayuda para afianzar y mejorar estándares de calidad en los productos industriales. Los niveles actuales de confiabilidad en los vehículos no se hubieran alcanzado sin este análisis.

Representación de los valores

N Tamaño poblacional: número de todos los elementos que forman la base del análisis estadístico
n Tamaño muestral: número de elementos en la muestra
P_A Nivel de confianza
x Valor particular.
R Amplitud (campo): $R = x_{max} - x_{min}$
k Núm. de clases, en las que se divide R. $k = \sqrt{n}$ (mínimo 5)
w Intervalo de clase.
i Número de orden del valor (como índice)
j Núm. de orden de la clase (como índice)
x_j Centro de la j-ésima clase
n_j Frecuencia absoluta de la clase j-ésima: el número de valores medidos en la clase j-ésima
h_j Frecuencia relativa de la clase j-ésima, $h_j = n_j/n$
h_j/w Densidad de frecuencia.
G_j Frecuencia absoluta acumulada: frecuencia absoluta sumada hasta una clase determinada

$$G_j = \sum_{r=1}^{j} n_r$$

H_j Frecuencia relativa acumulada = G_j/n
$F(x)$ Función de distribución: Probabilidad para los valores ≤ x
$f(x)$ Función de densidad de probabilidad $\frac{dF(x)}{dx}$
μ Media aritmética de la población (análogo al centro de gravedad)
$\bar{x}$ Media aritmética de la muestra

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i/n$$

$\bar{\bar{x}}$ Valor medio de varios valores medios $\bar{x}$
σ Desviación estándar de la población (análoga al radio de inercia)
s Desviación estándar de una muestra al azar

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2/(n-1)}$$

V Coeficiente de variación $V = s/\bar{x}$
u Factor de dispersión.

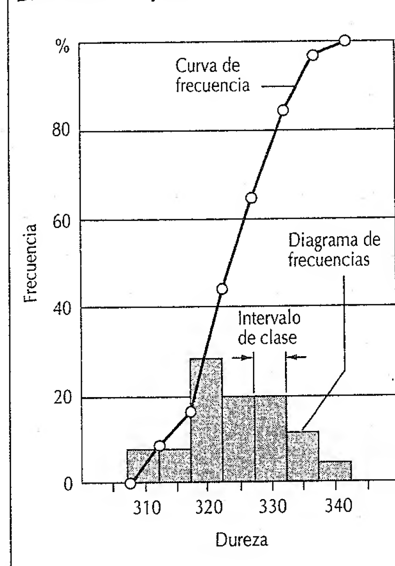
Diagrama de frecuencias y curva de frecuencia acumulada de una distribución empírica

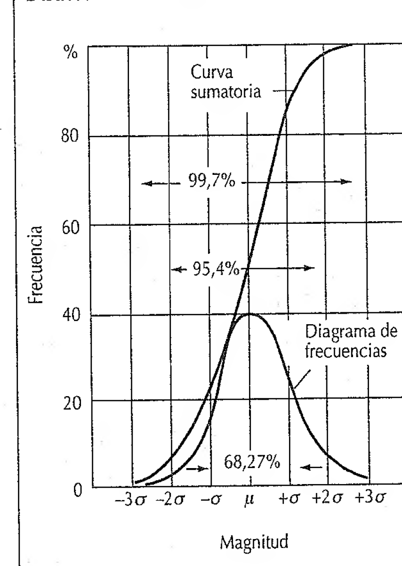
El procedimiento más sencillo para la representación sinóptica de un número grande de valores es el de la distribución de clases en un diagrama de frecuencias (histograma). En este sistema se dibujan rectángulos cuya base es igual al intervalo de clase y cuya superficie es proporcional a los números o frecuencias de clase. La altura de esos rectángulos es pues proporcional a la densidad de frecuencia. La curva de frecuencia acumulada se obtiene representando la suma de frecuencias H_j, sobre el límite superior de la clase correspondiente. La curva de frecuencia ofrece la ventaja frente al diagrama de frecuencias, de que para cada intervalo se puede leer fácilmente qué porcentaje de valores comprende (estimación de piezas defectuosas fuera de tolerancias).

En lotes pequeños de muestras se apunta $H_i = (i - 0{,}5)/n$ encima de los valores individuales x_i ordenados según tamaño.

Distribuciones y parámetros estadísticos

Una variable aleatoria x se caracteriza por su distribución. La función de distribución $F(x)$ describe la dependencia entre x y la suma de frecuencias o la probabilidad de que tome valores ≤ x. En el caso de distribuciones empíricas se corresponde con la curva de frecuencia. El histograma se describe mediante la función de densidad de probabilidad $f(x)$.





Los principales parámetros de una distribución son μ y σ.

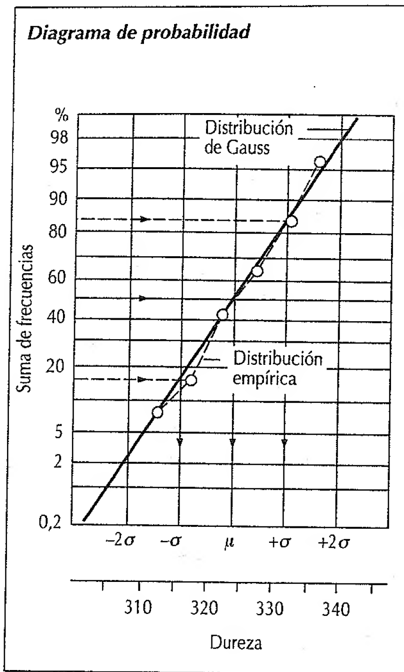
Distribución normal de Gauss

La distribución normal de Gauss es el caso límite matemático idealizado que se presenta siempre que se suman muchos efectos aleatorios, independientes entre sí. La función de densidad de probabilidad determinada unívocamente por μ y σ de la distribución de Gauss es simétrica, en forma de campana.

El área total debajo de la curva en forma de campana corresponde a 1 = 100%. Por medio de la desviación estándar σ y sus múltiplos se delimitan los intervalos con límites $\mu \pm u\sigma$, en los cuales se encuentra el P% de los valores (tabla 1). A ambos lados por fuera de estos intervalos están las fracciones participantes $\alpha = (100 - P)/2$.

Tabla 1. Frecuencia del valor P dentro de $\pm u\sigma$ y α fuera de $\pm u\sigma$

u	1,00	1,28	1,64	1,96	2,00	2,33	2,58	3,00	3,29
P%	68,27	80	90	95	95,4	98	99	99,7	99,9
α%	15,86	10	5	2,5	2,3	1	0,5	0,15	0,05



Distribución empírica y distribución de Gauss en la gráfica de probabilidad
En la "gráfica de probabilidades" se deforma la ordenada de modo que la curva sumatoria en forma de S se transforma en una recta.

Determinación de μ y σ con la gráfica de probabilidades:

1. Léase μ al 50% de la suma de frecuencias
2. Léanse las abscisas para 16% y 84%.
La diferencia corresponde a 2σ.

Teorema de propagación de errores
La media y la desviación estándar de una variable aleatoria $z = a \cdot x \div b \cdot y$, que resulta de la combinación lineal de dos variables aleatorias x e y distribuidas independientemente, son

$$\mu_z = a \cdot \mu_x + b \cdot \mu_y$$

$$\sigma_z^2 = a^2 \cdot \sigma_x^2 + b^2 \cdot \sigma_y^2$$

Ejemplos de utilización
1. Ajustes. Diámetro del agujero: x. Diámetro del eje: y.
Juego: $z = x - y$.
Para $\sigma_x = \sigma_y$ resulta $\sigma_z^2 = 2 \cdot \sigma_z^2$.
2. Medidas compuestas. Si las medidas particulares están distribuidas alrededor del centro de la tolerancia de forma estadísticamente independiente, se puede determinar la tolerancia para la totalidad de la medida por medio de la suma cuadrática (ver DIN 7186).

Evaluación de la serie de valores

Intervalos aleatorios para $\bar{x}$ y s.
(Conclusión directa)
Si de una misma población de media μ y desviación estándar σ se toman muestras de n valores cada una, los valores medios $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$... de las muestras tienen una dispersión con desviación estándar

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ alrededor del valor real } \mu.$$

(comparar con teorema de propagación de errores)
De forma parecida se pueden definir intervalos aleatorios para s y R

Magnitud	Interv. aleatorio	
	Límite inferior	Límite superior
$\bar{x}$	$\mu - \mu\frac{s}{\sqrt{n}}$	$\mu + \mu\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
s	$D_u \cdot \sigma$	$D_o \cdot \sigma$
R	$D_u \cdot \sigma \cdot d_n$	$D_o \cdot \sigma \cdot d_n$

D_u y D_o en dependencia de n y P de tablas 1 y 2

Tabla 2. Números auxiliares para la evaluación de serie de mediciones

n	d_n	Valores t para P = 90%	95%	99%	D_u para P = 95%	D_o
2	1,13	6,31	12,7	63,7	0,03	2,24
3	1,69	2,92	4,30	9,92	0,16	1,92
5	2,33	2,13	2,78	4,60	0,35	1,67
10	3,08	1,83	2,26	3,25	0,55	1,45
20	3,74	1,73	2,09	2,86	0,68	1,32
50	–	1,68	2,01	2,68	0,80	1,20
∞	–	1,65	1,96	2,58	1,00	1,00

Intervalos de confianza para μ y σ
(Deducción)
Si sólo se conocen $\bar{x}$ y s, el valor de la media poblacional μ estimado como el resultado de un número infinito de mediciones puede ser indicado mediante un intervalo de confianza; la probabilidad de que μ se halle dentro de ese intervalo será P_A%.

Magnitud	Intervalo de fiabilidad	
	Límite inferior	Límite superior
μ	$\bar{x} - t\frac{s}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} + t\frac{s}{\sqrt{n}}$
σ	$\frac{s}{D_o}$	$\frac{s}{D_u}$

t, D_o y D_u de tabla 2.

Comparación de valores medios
En dos pruebas al azar (n_i, x_i, s_i) sean $s_1 = s_2$. El intervalo de confianza para la diferencia $\mu_1 - \mu_2$ es:

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t \cdot s_A \cdot \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$$

$$s_A^2 = ((n_1 - 1)\, s_1^2 + (n_2 - 1)\, s_2^2)/(n' - 1)$$

$n' = n_1 + n_2 - 1$ definido por t en tabla 2.

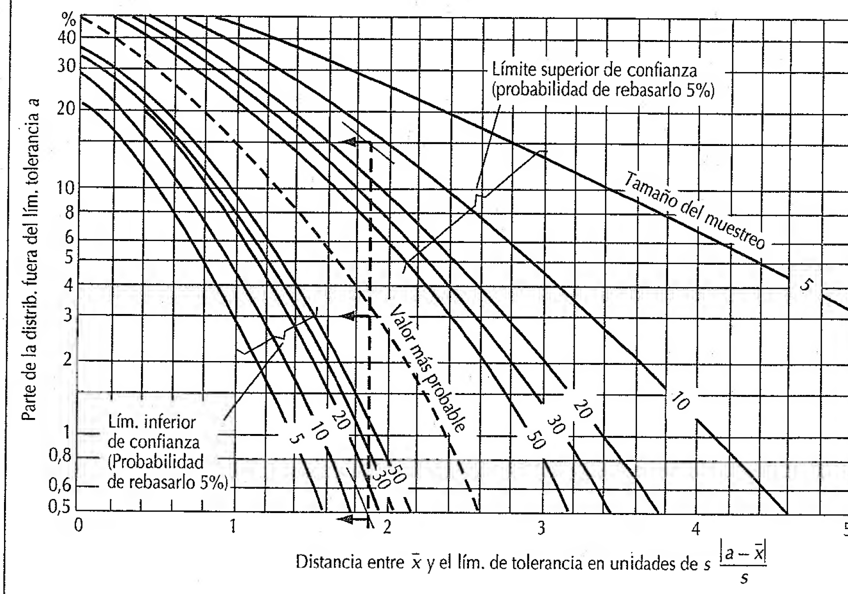
Evaluación de proporciones de exceso
Basado en $\bar{x}$, s de una serie de muestras deben evaluarse proporciones fuera de un límite de tolerancia a.

Forma de calcular:
Si se conocen μ y σ, entonces la proporción a fuera de tolerancia en la tabla 1 o en la figura "Límites de confianza para proporciones fuera de tolerancia" (curva "valor más probable") se determina por:

$$u = |a - \mu|/\sigma$$

P.ej. u = 1,65 corresponde a una proporción del 5%. Sin embargo, generalmente sólo se conocen $\bar{x}$ y s de la muestra al azar. Puesto que estos valores dependen de la casualidad, se puede indicar para la proporción de exceso solamente el intervalo de confianza en que se encuentra con cierta probabilidad.

En la figura se leen los límites de confianza en función de $|a - \bar{x}|/s$, los cuales solamente son excedidos en un 5%. Esta evaluación es necesaria para ambos límites de tolerancia.



Ejemplo

Tolerancia prescrita para rodillos rectificado $14^{-0,016}_{-0,043}$ mm.

Se han probado 14 piezas, que miden de 13,961 a 13,983 mm, $\bar{x}$ = 13,972 mm, R = 0,022 mm.

Valor de s a partir de R y con d_n de la tabla 2:

s = 0,022/3,5 = 0,0063

Cálculo para el límite superior de tolerancia

$$\frac{|a-\bar{x}|}{s} = \frac{13{,}984 - 13{,}972}{0{,}0063} = \frac{0{,}012}{0{,}0063} = 1{,}9$$

por lo tanto, en el diagrama:

Máx. de rechazos posible: ≈15%
Valor más probable: ≈ 3,1%
Valor mínimo posible: ≈ 0,5%

Cálculo para el límite inferior de tolerancia:

$$\frac{|a-\bar{x}|}{s} = \frac{|13{,}957 - 13{,}972|}{0{,}0063} = \frac{0{,}015}{0{,}0063} = 2{,}38$$

por lo tanto, en el diagrama:

Máx. de rechazos posible: ≈ 9%
Valor más probable: ≈ 1%
Valor mínimo posible: < 0,5%

Control estadístico de procesos (SPC)

En el proceso de fabricación se utilizan gráficos de control de calidad para asegurar una calidad constante. En espacios de tiempo preestablecidos se controlan muestras tomasa al azar y anotan en valores de medición los valores de $\bar{x}$ y R, y en atributos los fallos.

T_{un}, T_{ob}, límites de tolerancia inferior y superior, respectivamente,

T diferencia entre ambos límites de tolerancia (amplitud de tolerancia),

$T = T_{un} - T_{ob}$, $T_m = (T_{un} + T_{ob})/2$,

$\bar{\bar{x}}$, $\bar{R}$ valores de ≥ 20 pruebas al azar,

$\sigma = \bar{R}/d_n$ = desviación estándar,

$c_p = T/(6 \times \sigma)$ = aptitud de proceso.

Se tiene un "proceso controlado" cuando

1) $c_p > 1$ (mejor: $c_p \geq 1{,}33$),

2) no aparece transcurso anormal de la curva (ausencia de tendencias, etc.),

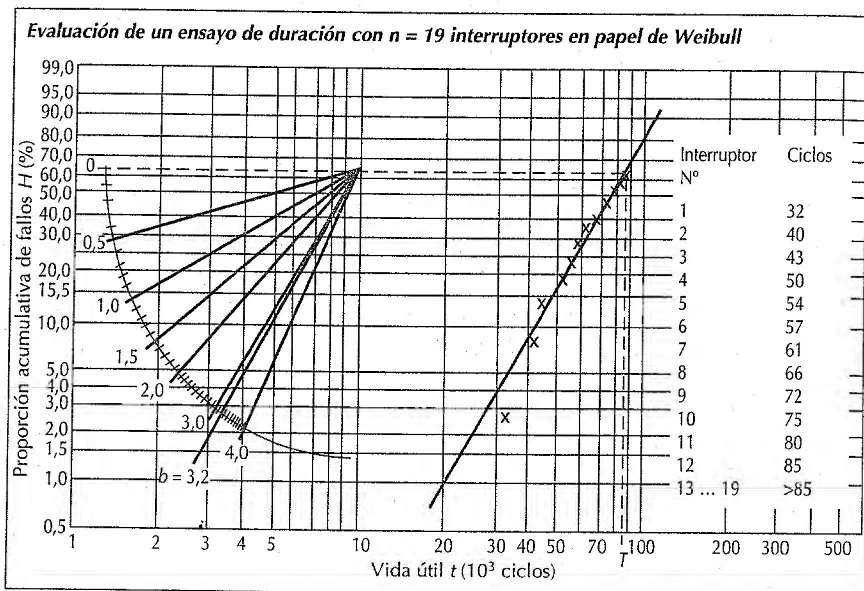
3) $\bar{x}$ y R están dentro de los límites de intervención definidos por los correspondientes intervalos aleatorios.

La tabla 3 muestra los valores aproximados para límites de intervención en porcentaje de T, calculados bajo las suposiciones de 99,7% de intervalos aleatorios y c_p = 1.

Tabla 3. Límites de intervención en % de T

n	3	4	5	6	7	8	10	12	15
R/T < %	72	78	82	84	86	88	91	93	95
$(\bar{x} - T_m)$ < %	29	25	22	20	19	18	16	14	13

Evaluación de un ensayo de duración con n = 19 interruptores en papel de Weibull



Distribución de Weibull de las duraciones de vida útil

Para la determinación de la vida útil de productos técnicos se ha introducido como norma la distribución de Weibull. Su función de distribución (probabilidad de vida útil ≤ t) es:

$F(t) = 1 - e^{-(t/T)^b}$

Probabilidad de supervivencia (función de fiabilidad)

$R(t) = 1 - F(t)$

Tasa de fallos (fallos por unidad de tiempo con relación a los que quedan)

$\lambda(t) = f(t)/R(t)$

con

T Vida útil característica, correspondiente a la proporción acumulativa de fallos del 63,2%.

b Pendiente de los fallos

$b < 1$: en descenso (fallos tempranos)

$b = 1$: constante (fallos casuales)

$b > 1$: en ascenso (desgaste)

En el papel de Weibull con ln t en abscisas y ln (–ln $R[t]$) en ordenadas, $F(t)$ resulta una recta.

Evaluación de un ensayo de duración con n piezas de prueba:

El diagrama de la pág. 160 muestra la evaluación de un ensayo de duración con n = 19 interruptores, de los cuales r = 12 han fallado. Las duraciones de la vida útil t están dispuestas según la longitud de los ciclos; la tasa de fallos colectiva se representa como:

$H = (i - 0{,}5)/n$

Se obtiene:

$T = 83 \cdot 10^3$ ciclos

b = 3,2 (desgaste)

T y b son, al igual que $\bar{x}$ y s, son magnitudes aleatorias. Los límites de confianza de los "valores verdaderos" se obtienen aproximadamente para ($n \geq 50$), por las fórmulas:

$$T \pm (u/\sqrt{n}) \cdot (T/b)$$

$$b - 0{,}5 \cdot (u/\sqrt{n'}) \cdot b \ldots b + (u/\sqrt{n'}) \cdot b$$

Los valores de u se toman de la tabla 1.

En observaciones incompletas ($r < n$) es:

$n' \approx r \cdot (1 + (r/n))/2$

Por lo tanto T y b son definidos con menor exactitud por r rechazos cuando $r < n$ que cuando $r = n$. En el párrafo siguiente se evalúa la proporción que supera una determinada duración de vida útil.

Evaluación estadística de resultados de comprobaciones

N Tamaño del lote: núm. de piezas que hay en el lote. En lo que sigue se considera que N es muy grande.

n Núm. de piezas de la muestra.

I Piezas defectuosas o número de defectos en el lote.

i Piezas defectuosas o núm. de defectos en la muestra.

p Proporción de defectos en la muestra $p = i/n$.

p' Proporción de rechazos en el lote $p' = I/N$.

Distribución de la proporción de rechazos p en pruebas al azar

El número de piezas rechazadas i del muestreo es una magnitud aleatoria. Para lotes grandes ($N > 10 \cdot n$) vale la distribución del binomio.

Valor esperado $E(i) = n \cdot p'$

Desviación estándar:

$$\sigma_i = \sqrt{n \cdot p'(1 - p')}$$

La figura de la pág. 162 muestra los intervalos aleatorios para p (conociéndose p') e intervalos de confianza para p' (conociéndose p) dependientes de n con probabilidad α = 10% de que cada límite sea excedido.

Para el intervalo muy frecuente en la práctica p' < 5% se pasa de la distribución del binomio a la ley de Poisson de los acontecimientos poco frecuentes, la cual sólo depende de $n \cdot p'$ con $E(i) = n \cdot p'$ y $\sigma_i = \sqrt{n \cdot p'}$

Tabla 4. Límites de confianza para acontecimientos poco frecuentes

Núm. de piez. exam. i	Límite inferior np'_u — Probabilidad de sobrepasar α 2,5%	10%	Límite superior $n \cdot p'_o$ 10%	2,5%
0	–	–	2,30	3,69
1	0,025	0,105	3,89	5,57
2	0,242	0,532	5,32	7,22
3	0,619	1,10	6,68	8,77
4	1,09	1,74	8,00	10,24
5	1,62	2,43	9,27	11,67
6	2,20	3,15	10,53	13,06
7	2,81	3,89	11,77	14,42
8	3,45	4,66	12,99	15,76
8	4,12	5,43	14,21	17,08
10	4,80	6,22	15,41	18,39
u	– 1,96	– 1,28	+ 1,28	+ 1,96
k	+ 1,0	+ 0,2	+ 1,2	+ 2,0

Ejemplos:

1. Distribución del binomio o binómica (Fig. de abajo)

En una prueba de duración en $n = 20$ unidades con duración de carga mayor han fallado $i = 2$ unidades

¿Qué proporción p' de la serie no alcanzará la vida útil T correspondiente?

Proporción en la prueba al azar $p = 2/20 = 10\%$. En la figura se tiene un $p = 10\%$ y $n = 20$:

$p'_u = 2{,}8\%$, $p'_o = 24\%$.

A calidad constante, el porcentaje de unidades con una vida útil < T será de este orden.

2. Distribución de Poisson (tabla 4)

En un control de recepción se encontró que de $n = 500$ unidades, elegidas al azar, una unidad ($i = 1$) estaba fuera de la tolerancia.

¿Cuál es el máximo porcentaje de unidades defectuosas en el lote, expresado con una probabilidad del 90%?

La tabla proporciona con $i = 1$, $\alpha = 10\%$:

$n \cdot p'_o = 3{,}89$

$p'_o = 3{,}89/500 = 7{,}78\%$.

Fórmula aproximada de la ley de Poisson

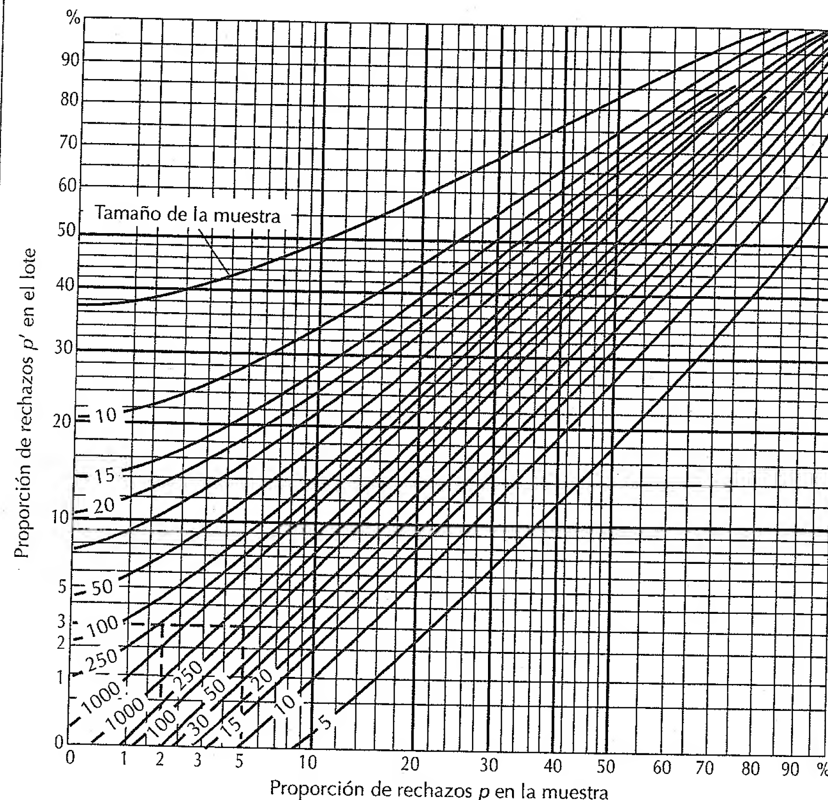
Para cantidades de $i > 10$ vale de forma aproximada:

$$n \cdot p' = i + u \cdot \sqrt{i} + k$$

(u, k véase la tabla 4).

Límites aleatorios o de confianza de los porcentajes de rechazos *(distribución binómica)*

Probabilidad de sobrepasar cada límite $\alpha = 10\%$



Ejemplo para una aproximación según Poisson:

En una preserie de $n = 10\,000$ unidades se encontraron a $i = 17$ rechazos. ¿Qué límite no superará la proporción de rechazos con una probabilidad del 97,5% y bajo las mismas condiciones?

Según la citada fórmula de aproximación con valores de la tabla 4:

$$np'_o = 17 + 1{,}96 \cdot \sqrt{17} + 2 = 27{,}08$$

$$p'_o = 27{,}08/10\,000 = 2{,}7‰$$

Conceptos de la técnica de medición

Las mediciones sólo pueden constituir la base de decisiones lógicas si se dispone de datos sobre los límites de error. Para ello se utilizan conceptos de la Estadística.

Definiciones de conceptos (seg. DIN 1319)

Magnitudes a medir

Magnitud física que se mide (longitud, densidad,...).

Valor de la medición

Valor de la magnitud que se mide, por ejemplo, 3 m

Resultado de la medición

Valor calculado de 1 o varias mediciones, por ejemplo, media $\bar{x}$

Error de medida $F = x_a - x_r$

x_a = valor indicado

x_r = valor "correcto".

Causas: El objeto medido, el aparato de medición, el procedimiento de medición, el medio ambiente, el observador.

Errores de medición relativos

Normalmente: F/x_r.

Para caracterización de aparatos de medida F/x_e, donde x_e = desviación final del aparato de medición.

Errores sistemáticos de medición

Errores que en iguales condiciones tienen igual magnitud y signo.

Los errores sistemáticos conocidos se corrigen aplicándoles una corrección $B = -F$; de lo contrario, el resultado no es correcto. Los errores sistemáticos no determinables hay que estimarlos (f).

Errores de medición aleatorios

Son errores que se dispersan en valor y signo. Se estiman por medio de la desviación estándar s.

Resultado de una serie de mediciones

Si se han medido n valores x_i en las mismas condiciones, entonces hay que dar como resultado de la medición

$y = \bar{x}_E \pm u$ Límites de confianza para el valor de medición correcto, siendo:

$\bar{x}_E = \bar{x} + B$ es el valor medio corregido y

$u = t \cdot s/\sqrt{n} + |f|$ la incertidumbre de la medición.

Para el cálculo de s, ver la pág. 156. Para t, ver la tabla 2 de la pág. 158.

f error sistemático no determinado.

Separación entre exactitud de medición y de fabricación

En n productos se mide en cada uno 2 veces una característica x_i con error de medición f_{ik}:

$$y_{ik} = x_i + f_{ik} \quad (i = 1 \ldots n;\ k = 1{,}2)$$

Las diferencias entre los valores de las dos medidas de un mismo producto comportan errores:

$$z_i = y_{i1} - y_{i2} = f_{i1} - f_{i2}$$

$$\sigma^2_z = 2\,\sigma^2_f$$

$$\sigma^2_y = \sigma^2_x + \sigma^2_f$$

De las últimas dos relaciones se puede obtener la desviación estándar σ_f del error corregido y la desviación estándar σ_x de la característica de fabricación x.

Normas

DIN 55 303 Evaluación estadística de datos

DIN 53 804 Evaluaciones estadísticas

DIN 53 350 Conceptos del aseguramiento de la calidad y estadística

DIN 40 080 Prescripciones, tablas para controles al azar de atributos

DIN 7 186 Tolerancia estadística

DIN/ISO 9000 Sistemas de aseguramiento de la calidad

DQG-11-04 Conceptos y símbolos de fórmulas del aseguramiento de la calidad (Beuth)

Bibliografía

Graf, Henning, Stange: Formeln und Tabellen der Statistik (Springer-Verlag, Berlin 1966);

Rauhut: Berechnung der Lebensdauerverteilung (Glückauf-Verlag, Essen, 1982).

Fiabilidad

La fiabilidad (DIN 40 041) es el conjunto de cualidades de un producto que se han de cumplir para satisfacer su utilidad durante un tiempo dado. Es un subconcepto de la calidad. Se cuantifica en términos de la disponibilidad, que, a su vez, se define como la probabilidad de encontrar un sistema, en cualquier momento, con capacidad funcional.

Índices de fallos

El índice de fallo es la densidad condicionada de probabilidad en que un componente falle en el momento $t + dt$, presuponiendo que haya superado la duración de vida útil t. Generalmente tiene forma de curva de "bañera" y se describe como superposición de tres distribuciones de Weibull con diferentes unidades de fallo b (véase "Estadística Técnica").

Análisis de fiabilidad

Para calcular el riesgo potencial de fallos asociado a un producto, es decir detectar todos los posibles efectos de fallos internos y operacionales, así como de interferencias externas (p.ej. manejo erróneo), se utilizan métodos que se complementan mutuamente como FMEA, FTA, análisis de paros por fallos, diagrama de bloques y modelos Markoff. También se emplean simulaciones.

FMEA (DIN 25 448, IEC 812)
La FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) es un análisis "de abajo arriba". Parte del nivel más bajo de la jerarquía del sistema (en los FMEA de construcción, normalmente los componentes individuales; en los FMEA de sistemas, los diferentes bloques de funciones individuales; en los FMEA de procesos, las unidades básicas son las operaciones individuales) y analiza la propagación de los fallos a niveles superiores. Proporciona una calificación aproximada de los fallos y está en condiciones de reconocer todos los estados críticos del sistema producidos por fallos individuales. El FMEA puede ser aplicado en diferentes fases del desarrollo y de la fabricación.

FMEA en la construcción
Premisa: las piezas están fabricadas según plano. Se comprueba el cumplimiento del pliego de condiciones de los fabricados/componentes para evitar fallos de concepción del sistema y para el reconocimiento de riesgos de campo.

FMEA de proceso
Premisa: las especificaciones son correctas. Se analiza la ejecución de la fabricación de acuerdo con sus planos, para evitar fallos de fabricación.

FMEA de sistema
Se analiza la acción funcional combinada de los componentes del sistema y de sus uniones para evitar fallos de concepción del sistema y para el reconocimiento de riesgos de campo.

Análisis de árbol de fallos
El análisis de árbol de fallos (Fault Tree Analysis, FTA) es un análisis "arriba-abajo". El efecto de un fallo (suceso indeseado) se analiza para determinar cómo se produjo y de esta forma muestra todas las posibles causas (también combinación de fallos individuales) del suceso indeseado. Conocida la probabilidad de aparición de fallos individuales puede calcularse la probabilidad de aparición del suceso indeseado.

Planificación de la fiabilidad

Con el procedimiento del Reliability-Growth-Management (RG, Mil-Hdbk 189) para el desarrollo de sistemas y componentes se asegura qué productos de nuevo desarrollo corresponden a la fiabilidad requerida desde el comienzo de las series.

Si se representa el tiempo de funcionamiento acumulado (tiempo total de todas las pruebas) en escala doble logarítmica en función de los MTTF instantáneos (Mean-Time to Failure, valor de experiencia de la duración de vida útil; aquí: tiempo total de prueba de todas las muestras dividido por el número de pruebas con fallos), entonces la experiencia demuestra que los MTTF instantáneos corren a lo largo de una recta cuya pendiente α oscila, según el tipo de producto y el esfuerzo realizado, entre 0,35 y 0,5. En el caso más favorable el tiempo total de comprobación de las pruebas se reduce multiplicándolo por $1 - \alpha$.

El análisis de un plan RG debe ir acompañado de medidas para la conversión de los conocimientos obtenidos. En el transcurso del programa RG hay que mantener los límites de fiabilidad dentro de determinados valores. En la planificación del programa de pruebas hay que encontrar tanto un camino viable entre tiempo requerido, pruebas requeridas y medios disponibles como una forma realista de valorar las posibles ganancias en fiabilidad.

Fiabilidad de la electrónica en el automóvil

Cada vez se utiliza más la electrónica para mandos y regulaciones en la modernización de los procesos del automóvil. Si antes se efectuaba con electrónica analógica, ahora se imponen los sistemas digitales con mando de microordenadores. Solo con ellos pueden conseguirse las exigencias de confort, limpieza, economía del vehículo y, por último, aunque no menos importante, las expectativas cada vez mayores de seguridad.

Predicción de la fiabilidad del sistema
Los componentes electrónicos generalmente fallan de forma imprevista y espontánea. Esto se expresa mediante una distribución exponencial (índice constante de fallos, intervalo medio de la "curva de forma de bañera"). Estos fallos no pueden evitarse ni con controles de calidad ni con mantenimiento preventivo. Se excluyen fallos debidos a elección errónea de los componentes, esfuerzos excesivos, fallos de fabricación y similares. Estos últimos generalmente se atribuyen a la parte delantera de la curva de forma de bañera.

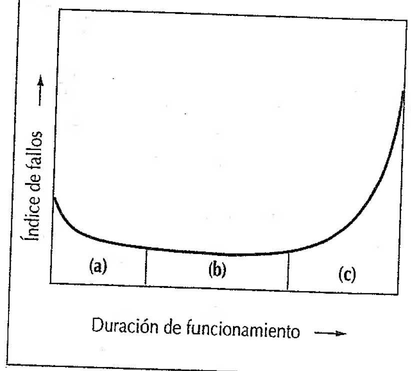
Sin medidas adicionales (redundancia) la disponibilidad de sistemas electrónicos disminuye con el número de componentes. Los componentes utilizados en el automóvil están expuestos a grandes cargas térmicas, mecánicas, climáticas e interferencias electromagnéticas. Además, la complejidad de los sistemas electrónicos dificulta cumplir las normas convencionales de fiabilidad.

Las recopilaciones de datos de fiabilidad como el Mil-Hdbk 217E o la SAE 870050 tienen en cuenta estas influencias y permiten en cierta forma realizar predicciones sobre la fiabilidad que se puede esperar de un sistema.

Los fallos de los sistemas puramente electrónicos, como son transistores, circuitos integrados y microordenadores, sólo son la causa en un 10% de los casos. Los sensores y órganos de regulación tienen una proporción del 30%, mientras que el 60% recae en las uniones de los componentes entre ellos y con el mundo exterior.

Incremento de la fiabilidad del sistema
Básicamente puede mejorarse la fiabilidad de un sistema mediante eliminación de fallos o tolerancias de fallo. Las medidas para evitarlos son entre otras la elección de componentes de mayor fiabilidad o la reducción del número de componentes individuales, y la disminución del número de uniones mediante una mayor integración. Si las medidas para evitarlos no son suficientes, hay que tomar medidas de tolerancias de fallos (p.ej. uso de canales múltiples, autosupervisión) para enmascarar los efectos de un fallo.

Fases de fallos
(a) *Fallos tempranos*
(b) *Fallos casuales*
(c) *Fallos por envejecimiento*



Procesamiento de datos en el automóvil

Requisitos

Los requisitos para la mayor parte de los distintos sistemas específicos del automóvil sólo pueden ser cumplidos, en cuanto a función, seguridad, compatibilidad con el medio ambiente y el confort, por conceptos altamente avanzados de mando y de regulación. Las magnitudes de mando y regulación captadas por sensores son transformadas por un dispositivo de maniobra en las señales que necesitan los actuadores. Preferentemente con procedimientos de procesamiento digital de señales se transforman las señales analógicas (p.ej. presión, temperatura), digitales (p.ej. posición de un interruptor) o de pulsación (p.ej. contenido de información en la aparición en el tiempo; p.ej. señal de limitación de revoluciones) después de someterlas a un procesamiento correspondiente previo (filtrado, amplificación, formación de impulsos) y transformación (analógica/digital).

Con la técnica moderna de semiconductores pueden integrarse en pocos componentes procesadores de mucho rendimiento con sus correspondientes memorias de datos y programas, así como también circuitos integrados periféricos concebidos para aplicaciones especiales de tiempo real.

Los equipos modernos de automóviles abarcan diferentes dispositivos digitales de mando, como para encendido/inyección, ABS y mando de la caja de cambios. Mediante la sincronización de los procesos regulados por los dispositivos de mando individuales y el ajuste constante, es decir en tiempo real, de sus parámetros se realizan funciones adicionales y ventajosas. Un ejemplo de este tipo de función es la regulación contra el resbalamiento de las ruedas motrices, que por mantenerlas rodando reduce el par de giro de accionamiento.

El intercambio de informaciones entre los dispositivos de mando (en el ejemplo ABS/ASR y mando del rendimiento del motor) hasta ahora se efectuaba exclusivamente con conducciones individuales. Pero este tipo de uniones de punto a punto sólo se emplea ventajosamente con un número limitado de señales. Una topología de red sencilla y apropiada al automóvil para la transmisión serial de datos entre los dispositivos de mando amplía las posibilidades de transmisión.

Microordenadores

Un microordenador comprende tanto la unidad central de procesamiento (CPU), para procesar operaciones aritméticas y lógicas, como módulos de funciones especiales para evaluar señales externas y producir señales de mando para órganos de ajuste externos. Estos módulos periféricos son capaces de tomar el control de funciones en tiempo real. Estas funciones sólo las podría realizar la unidad central de procesamiento controlada por programas si se añade más complejidad y se limita el número de sus funciones (p.ej. la determinación del momento en el cual se produjo un suceso).

Capacidad de cálculo

La capacidad de una CPU viene determinada por la frecuencia interna de ciclos y el número de ciclos requeridos en promedio por cada instrucción, además de por la construcción (p.ej. máquina de acumuladores o registradores) y la amplitud de la palabra (4 a 32 bit):

- frecuencia de ciclos: 1 a 20 MHz (típico),
- número de ciclos por instrucción: 1 a 32 (típico), dependiente de la construcción de la CPU y de la instrucción (p.ej. adición de 6 ciclos, multiplicación de 32 ciclos).

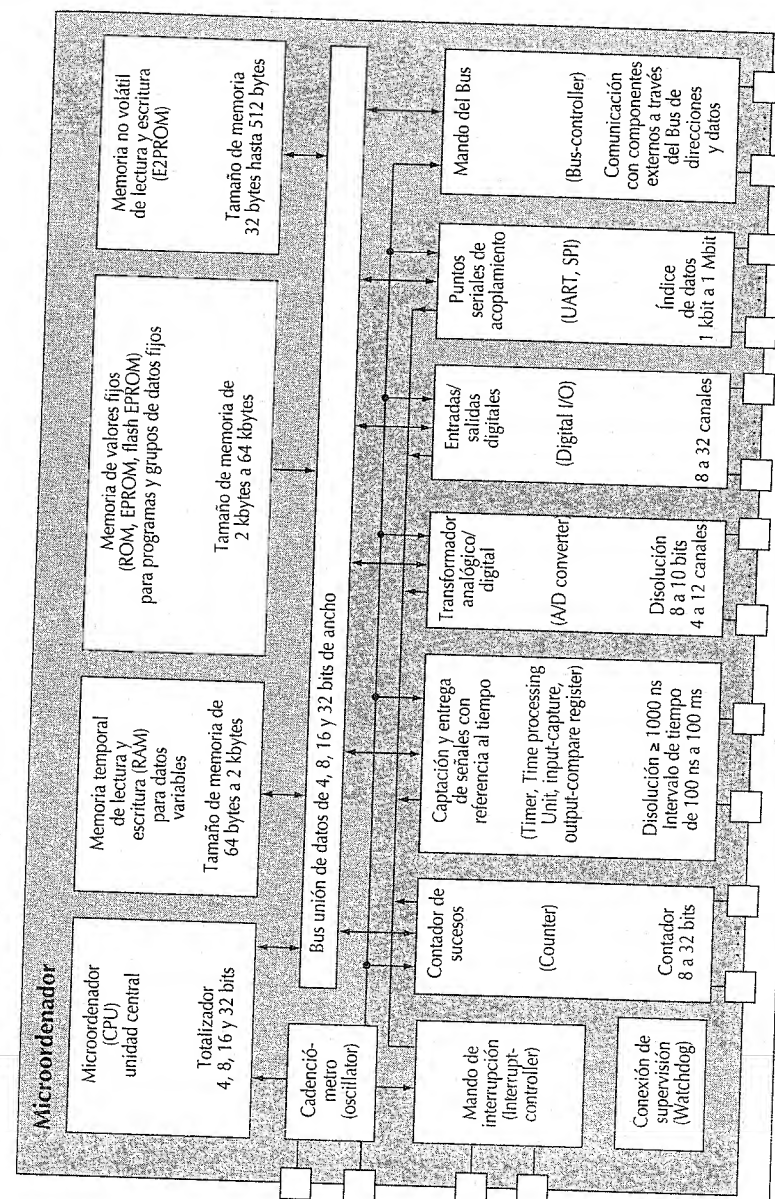
Dispositivo de mando

Señales de entrada digitales

Captación de la posición de un interruptor o de señales digitales de sensores (p.ej. impulsos de revoluciones de un sensor Hall). Intervalo de tensiones: de 0 V hasta la tensión de la batería.

Señales de entrada analógicas

Señales de sensores analógicos (sonda Lambda, sensor de presión, potenciómetros).
Intervalo de tensiones: de unos pocos mV hasta 5 V.



Señales de entrada pulsantes
Señales de sensores inductivos de revoluciones; son convertidas a la forma digital antes de cualquier otro procesamiento. Intervalo de tensiones: 0,5 V hasta 100V.

Procesamiento previo de señales
Las señales de entrada se limitan a un nivel de tensión admisible (tensión de funcionamiento del microordenador) mediante interruptores de protección (pasivos: interruptores R y RC, activos: componentes especiales semiconductores resistentes a tensiones). La señal útil se libera, mediante filtros de las señales de interferencias superpuestas y se adaptan a la tensión de entrada del microordenador mediante amplificación. Intervalo de tensiones: 0 V hasta 5 V.

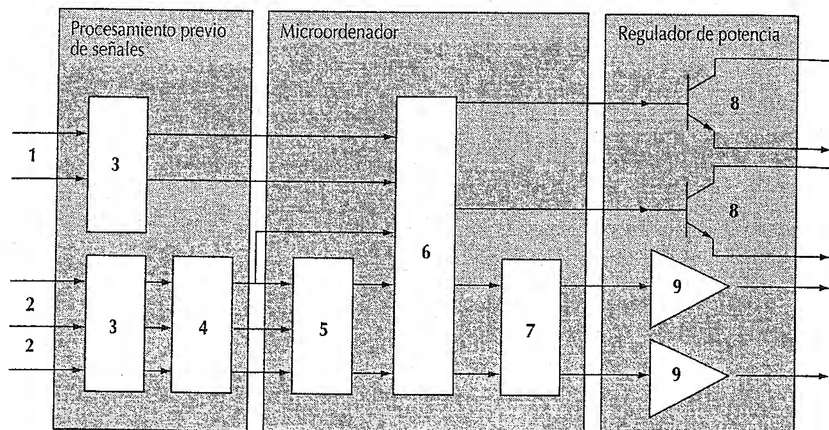
Procesamiento de señales
En dispositivos de mando la mayor parte de las veces el procesamiento de señales se efectúa de forma digital. En módulos de hardware concebidos para su correspondiente función especial, se procesan señales rápidas y periódicas en referencia a tiempo real. Los resultados, como p.ej. un valor del contador o el momento de un suceso, son trasladados a la unidad central para su ulterior procesamiento. Con esta forma de proceder se reducen considerablemente los tiempos necesarios de interrupción respuesta de la unidad central (orden de los μs).

El tiempo disponible para los procesos de cálculo viene determinado por el recorrido de mando o bien de regulación (rango de ms).

Los algoritmos propios de mando y de regulación se realizan dentro del software. Se puede realizar, dependiendo de los datos, casi cualquier conexión lógica y memorizar y procesar juegos de datos en forma de parámetros, y curvas y campos característicos de múltiples dimensiones.

Señales de salida
Mediante interruptores y amplificadores de potencia se eleva el nivel de potencia de las señales de salida del microordenador (0 V hasta 5 V, algunos mA) hasta el valor requerido para los órganos de ajuste (tensión de la batería, algunos A).

Procesamiento de la señal en el dispositivo de mando
1 Señales de entrada digitales, 2 Señales de entrada analógicas, 3 Interruptores de protección, 4 Amplificador, filtro, 5 Transformador A/D, 6 Procesamiento de señales digitales, 7 Transformador D/A, 8 Interruptor de potencia, 9 Amplificador de potencia



Sistema total

Concepto de ordenación (Cartronic)
Este concepto significa la segmentación de todo el sistema eléctrico del automóvil en subsistemas de fácil inspección. Unidades estrechamente acopladas funcionalmente se unen a una red parcial. Este concepto de ordenación lleva a redes parciales con requerimientos distintos de capacidad de transporte, pero no a acuerdos distintos sobre el intercambio de datos.

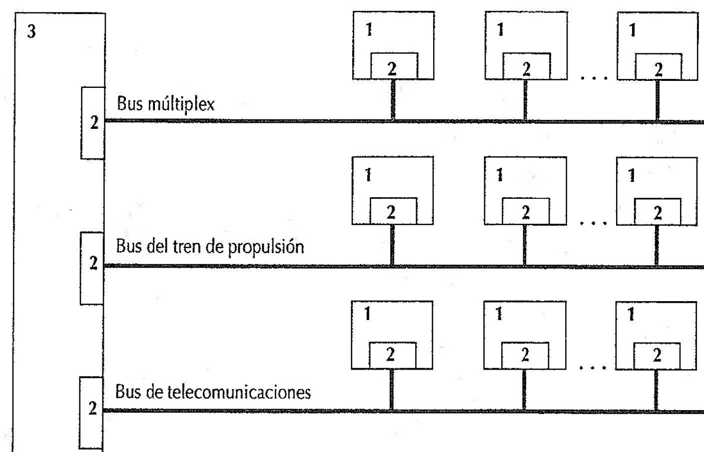
Topología
Todos los sistemas conocidos de comunicación desarrollados específicamente para el automóvil, se basan en una conexión serial lógica y única de los dispositivos de mando. Desde el punto de vista físico ésta se realiza como un acoplamiento de un cable o de dos cables diferenciales, la cual conecta entre sí los correspondientes dispositivos de mando en forma de un bus.

Protocolo
El protocolo consta de un conjunto de acuerdos, conforme a los cuales hay que llevar a cabo el intercambio de datos entre los diferentes dispositivos de mando. Se determinan los procedimientos para la captación por el bus, la estructura del mensaje, la codificación de bits y de datos, el reconocimiento y tratamiento de fallos así como también la localización de participantes defectuosos del bus (CAN, pág. 800).

Velocidad de transmisión
Bus múltiplex: 10 kbit/s a 125 kbit/s,
Bus del tren de propulsión: 125 kbit/s a 1 Mbit/s,
Bus de telecomunicaciones: 10 kbit/s a 125 kbit/s.

Tiempo de demora
Tiempo que transcurre entre la solicitud de transmisión de la estación emisora y la recepción del mensaje, sin errores, por la estación meta.
Bus múltiplex: 0,5 ms a 100 ms,
Bus del tren de propulsión:
5,0 ms a 10 ms,
Bus de telecomunicaciones:
0,5 ms a 100 ms.

Acoplamiento de los sistemas de bus
1 Dispositivo de mando, 2 Mando del bus (buscontroller), 3 Unidad de acoplamiento de bus (gateway)



Técnica de regulación y mando

Conceptos y definiciones (según DIN 19226)

Regulación	Mando
Regulación La regulación es un proceso por el cual una magnitud, la magnitud que hay que regular (magnitud de regulación *x*), está continuamente determinada, comparada con otra magnitud, la magnitud guía w_1, y según el resultado de esta comparación modificada en el sentido que tiende a igualarla a la magnitud de guía. El proceso de corrección que así se produce tiene lugar en un circuito cerrado, el circuito de regulación. La regulación tiene la misión de igualar el valor prefijado de la magnitud guía al de la magnitud de regulación a pesar de las influencias perturbadoras, aun cuando esta igualación, en el marco de las posibilidades reales, no sea completa.	**Mando** El mando es el proceso en un sistema por el cual una o varias magnitudes, las de entrada, influyen en otras, las de salida, aprovechando la regularidad intrínseca del sistema. La característica del mando es el proceso de acción abierta a través de un único componente transmisor o de una cadena de mando. La denominación de mando se utiliza muchas veces no sólo para el proceso de mando, sino también para el conjunto de la instalación que lo compone.
Circuito de regulación El circuito de regulación está formado por la totalidad de los elementos que participan en el ciclo corrector. El circuito de regulación en sí es un ciclo cuya acción influye sólo en un sentido. La magnitud de regulación *x* actúa en el circuito de modo que éste se acople en sentido opuesto al mismo. **Al revés que el mando, la regulación contrarresta la influencia de todas las magnitudes perturbadoras (z_1, z_2) en el circuito de regulación.** El circuito de regulación se divide en tramo de regulación y dispositivo de regulación.	**Cadena de mando** Una cadena de mando es una ordenación de elementos (sistemas) interrelacionados en la estructura de la cadena. Una cadena de mando, en su conjunto, puede estar comprendida dentro de un sistema de orden superior y relacionada con determinada dependencia con otros sistemas. Por medio de una cadena de mando sólo se puede contrarrestar la magnitud perturbadora que mida el aparato de mando (fig. 2, magnitud z_1); otras magnitudes perturbadoras (p. ej., z_2) actúan libremente. La cadena de mando se divide en dispositivo de mando y tramo de mando.

Dispositivos de mando y de regulación
Los dispositivos de mando y de regulación son las piezas del ciclo que aplican las funciones que influyen en el tramo del elemento de mando o regulación, respectivamente.

Campo de la técnica de aparatos
a las instalaciones de mando y de regulación pertenecen aquellos aparatos que son necesarios para aplicar las medidas correctoras del tramo.

Figura 1: Circuito de regulación

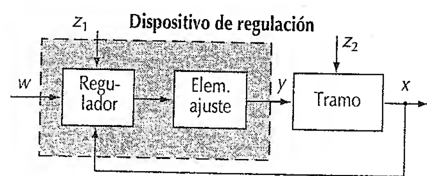
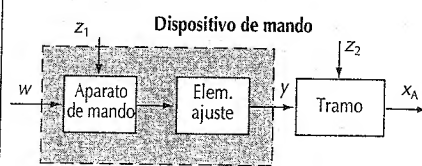


Figura 2: Cadena de mando



Magnitudes de entrada y de salida del dispositivo de regulación
Las magnitudes de entrada del dispositivo de regulación son la magnitud de regulación *x*, la magnitud de guía *w* y las magnitudes perturbadoras z_1. La magnitud de salida del dispositivo de regulación es la magnitud de ajuste *y*.

Magnitudes de entrada y de salida del dispositivo de mando
Las magnitudes de entrada del dispositivo de mando son la magnitud de guía *w* y las magnitudes perturbadoras z_1. La magnitud de salida del dispositivo de regulación es la magnitud de ajuste *y*.

Regulación	Mando

Tramos de mando y regulación
Los tramos (de mando y regulación) son aquellas partes del ciclo de accionamiento, que representan el campo de aplicación de la medida correctora de la instalación.

Magnitudes de entrada y de salida del tramo de regulación Magnitudes de entrada del tramo de regulación son la de ajuste *y* y las magnitudes perturbadoras z_2. La salida del tramo de regulación es la magnitud de regulación *x*.	**Magnitudes de entrada y de salida de la etapa de mando** La magnitud de entrada es la de ajuste *y*. La de salida es la magnitud requerida x_A u otra que influya en ésta de forma ya prefijada

Elementos de transmisión estructurales
Las regulaciones y mandos se dividen a lo largo de su ciclo en componentes o elementos.
Bajo el punto de vista técnico de los aparatos se consideran elementos estructurales y bajo el punto de vista práctico, componentes de la trasmisión.
Bajo el punto de vista práctico de una regulación o mando, se describe sólo la dependencia de las magnitudes y sus valores, que guardan relación entre sí en el sistema.

Carrera y sentido de accionamiento
La cadena de mando y el circuito de regulación representan la interconexión de un elemento (o sistema) particular en una carrera de accionamiento.
La carrera es la longitud a lo largo de la cual se transmiten acciones determinantes del proceso de regulación o de mando. El sentido de acción es aquel en que se trasmiten estas acciones.
La carrera y el sentido de las acciones no es necesario que coincidan con los correspondientes del flujo de energía de masas.

Elemento de ajuste, lugar de ajuste
El elemento de ajuste es el que se encuentra a la entrada del tramo y que interviene allí en un flujo de masas o de energía. El lugar de la intervención se llama lugar de ajuste.

Lugar de perturbación
El lugar de perturbación es el punto de aplicación de una magnitud sobre la que no influye la carrera de la instalación, que perturba el régimen de mantenimiento de las medidas correctoras.

Magnitud de ajuste *y* y campo de ajuste Y_h
La magnitud de ajuste *y* es la de salida del dispositivo de mando o de regulación y al mismo tiempo la de entrada del tramo. Transmite al tramo la acción reguladora o de mando del dispositivo.
El campo de ajuste Y_h es aquel del cual se puede fijar la magnitud de ajuste.

Magnitud de guía *w*, campo de guía W_h
Las magnitudes de guía *w* de un mando o regulación es una magnitud no influenciada directamente por el mando o regulación correspondientes, que se conduce desde el exterior a la cadena de mando o al circuito de regulación y que debe seguir a la magnitud de salida del mando o de la regulación con una dependencia preestablecida.
El campo de guía W_h es aquel dentro del cual puede estar situada la magnitud de guía *w* de un mando o regulación.

Magnitudes perturbadoras *z*, campo de perturbación Z_h
Las magnitudes perturbadoras *z* de regulaciones y mandos son todas las que actúan desde el exterior, y que perturban las acciones previstas de dichos mandos o regulaciones. En muchos casos la carga o el caudal a través de la instalación son la principal magnitud perturbadora. El campo de perturbación Z_h es aquel dentro del cual puede estar situada la magnitud perturbadora sin perjuicio de la capacidad funcional del mando o regulación.

Magnitud correctora x_A, Campo corrector X_{Ah}
La magnitud correctora x_{Ah} de un mando o regulación es la que influye en el cometido del mando o regulación.
El campo corrector X_{Ah} de un mando o regulación, es el intervalo dentro del cual puede estar situada la magnitud correctora a plena capacidad funcional de dicho mando o regulación.

Diseño de un regulador, elementos de transmisión

En la técnica de regulación se dispone de una serie de procedimientos de análisis y de síntesis. Muchos problemas de la técnica de regulación se solucionan mediante tipos de reguladores que se componen de cuatro elementos básicos.

– elemento *P* (elemento de transmisión que actúa de forma proporcional)
– elemento *I* (elemento de transmisión que actúa de forma integradora)
– elemento *D* (elemento de transmisión que actúa de forma diferencial)
– elemento T_1 (elemento de demora de primer orden).

Mediante conexión en paralelo en la entrada y suma de las magnitudes de salida de los tres elementos de transmisión *P*, *I* y *D* así como también por posconexión del elemento T_1, pueden fabricarse los tipos de reguladores *P, I, PI, PP, PD, PID* y *PPD*. Para los valores característicos y el comportamiento del sistema véase DIN 19 226.

	Función de transmisión	Ecuación
P		$F = K$
I		$F = \frac{K_I}{p}$
D		$F = K_D p$
T_1		$F = \frac{1}{1 + T_1 p}$

Regulación digital

El uso de microordenadores requiere una diferenciación entre los siguientes reguladores:

Regulación continuada en el tiempo

En la regulación continuada en el tiempo se capta la magnitud de regulación interrumpida y se compara con la magnitud guía. En dependencia con esta comparación se genera la magnitud de regulación

Regulación discreta en el tiempo

En la regulación discreta en el tiempo o de exploración se capta la magnitud de regulación sólo en los puntos de tiempo de exploración y se compara con la magnitud guía. Si el resultado de esta comparación es procesado de forma digital y se produce la magnitud de regulación sobre una base digital, entonces se denomina regulación digital.

El algoritmo de regulación está implementado en forma de programa de software. Convertidores A/D o D/A transforman la magnitud de regulación analógica en un valor digital y la magnitud de ajuste en una magnitud de ajuste analógica.

Plan de actuación de una regulación digital
*T Tiempo de exploración, * Valores digitales de señal*

Ejemplos de sistemas de regulación en automóviles (simplificados)

Sistema de regulación	Magnitudes: Correctoras (x_A)	de regulación (*x*)	de guía (*w*)	de ajuste (*y*)	perturbadoras (*z*)	Elementos: Dispositivo de regulación	Dispositivo ajuste	Tramo de regulac.
Regulación Lambda	Relación: aire-combust. (λ)	Contenido de O_2 en el gas del escape	λ = 1,10 (valor regulac. fijo)	Cantidad inyectada	Mando previo inex., falta estanq., ventil, escape gas p. cárter cigüeñal	Aparato regulac. λ y sonda λ	Válvulas de inyección	Cámara de combust., parte conducto aspirac. y del sistema de escape hasta sonda λ
Regulación del número de rev. en motores diesel	Núm. de revoluciones del motor		Núm revoluc. nominal (regulac. progresiva)	Cantidad inyectada	Carga	Regulad. núm. revoluc.	Bomba inyección	Zona constituc. de la mezcla en motor
Sistema antibloqueo (ABS)	Resbalamiento ruedas	Resbalamiento ruedas	Lím. de deslizam. (regulac. a valor fijo)	Presión del freno	Estado calzada	Regulad. en aparato mando ABS y palpador núm. revol.	Válvula mando de la presión	Neumáticos/ calzada
Regulac. de temperatura (espacio inferior)	Temp. espacio interior	Temp. int. escape, aire ext.	Temp. teórica (regulac. progresiva)	Caudal agua caliente o mezcla de aire frío y caliente	Temp. motor y ext., rediac. calor; vdad. marcha, nº rev. motor	Regulac. temp. y sonda temper.	Válvula electomagn. de calef. o de trampilla aire	Espacio interior

Ejemplos de sistemas de mando en el motor

Sistema de mando	Magnitudes: correctora (x_A)	de guía (*w*)	de entrada del dispositivo de mando	perturbadoras (*z*)	de ajuste (*y*)	Elementos: Dispositivo de mando	Elemento de ajuste	Recorrido regulación
Inyección de gasolina Jetronic	relación aire-carburante	relación aire-carburante (valor previsto)	Núm. revoluciones motor, temperatura motor, tensión red vehículo, cantidad y temperatura de aire, posic. válvula estrangulamiento	Temperatura carburante, formación película en pared	Duración de la inyección	Aparato mando Jetronic con div. elementos de medición	Válvulas de inyección	Zona formación mezcla
Sistemas de encendido electrónicos	Punto de inflamación	Punto de inflamación (valor previsto)	Núm.rev. motor, posición vehículo, presión tubo de aspiración, pos. válv. estrangulación, temperatura motor, tensión red en vehículo	Estado de las bujías, relación aire-carburante, calidad del carburante, tolerancias mecánicas	Punto de encendido	Dispositivo de mando del encendido	Etapa final encendido	Cámara de combustión en el motor

Elementos químicos

Elemento	Símbolo	Clase[1]	Número atómico	Peso atómico	Valencia	Año del descubrim.	Descubridor
Actinio	Ac	m	89	227	3	1899	Debierne
Aluminio	Al	m	13	26,98	3	1825	Oersted
Americio[2]	Am	m	95	243	3; 4; 5; 6	1944	Seaborg y otros
Antimonio	Sb	m	51	121,75	3; 5	Antigüedad	
Argón	Sr	g	18	39,95	0	1894	Ramsay, Rayleigh
Arsénico	As	n	33	74,92	3; 5	S. XIII	Magnus
Astato	At	n	85	210	1; 3; 5; 7	1940	Corson, MacKenzie, Segré
Azufre	S	n	16	32,08	2; 4; 6	Antigüedad	
Bario	Ba	m	56	137,34	2	1808	Davy
Berilio	Be	m	4	9,01	2	1797	Vauquelin
Berkelio[2]	Bk	m	97	245	3; 4	1949	Seaborg
Bismuto	Bi	m	83	208,9	3; 5	Siglo XV	Desconocido
Boro	B	n	5	10,81	3	1808	Gay-Lussac, Thénard, Davy
Bromo	Br	n	35	79,91	1; 5	1826	Balard
Cadmio	Cd	m	48	112,4	2	1817	Strohmeyer
Calcio	Ca	m	20	40,08	2	1808	Savy
Californio[2]	Cf	m	98	251	2; 3; 4	1950	Seaborg y otros
Carbono	C	n	6	12,01	2; 4	Antigüedad	
Cerio	Ce	m	58	140,12	3; 4	1803	Benzelius y otros
Cesio	Cs	m	55	132,9	1	1860	Bunsen, Kirchhoff
Cinc	Zn	m	30	65,37	2	Antigüedad	
Circonio	Zr	m	40	91,22	4	1789	Klaproth
Cloro	Cl	g	17	35,46	1; 3; 5; 7	1774	Scheele
Cobalto	Co	m	27	58,93	2; 3	1735	Brandt
Cobre	Cu	m	29	63,54	1; 2	Antigüedad	
Criptón	Kr	g	36	83,80	0	1898	Ramsay
Cromo	Cr	m	24	52,00	2; 3; 6	1780	Vauquelin
Curio[2]	Cm	m	96	247	3; 4; 5; 6	1944	Seabor y otros
Disprosio	Dy	m	66	162,5	3	1886	Lecoq de Boisbaudran
Einstenio[2]	Es	m	99	254	3	1952	Ghiorso y otros
Erbio	Er	m	68	167,26	3	1842	Mosander
Escandio	Sc	m	21	44,96	3	1879	Nilson
Estaño	Sn	m	50	118,69	2; 4	Antigüedad	
Estroncio	Sr	m	38	87,62	2	1790	Crawford
Europio	Eu	m	63	151,96	3	1901	Demarcay
Fermio[2]	Fm		100	250	1; 2; 3	1952	Ghiorso y otros
Flúor	F	g	9	19,00	1	1887	Moissan
Fósforo	P	n	15	30,97	3; 5	1669	Brandt
Francio	Fr	m	87	223	1	1939	Percy
Gadolinio	Gd	m	64	157,25	3	1880	de Marignac
Galio	Ga	m	31	69,72	2; 3	1875	Lecoq de Boisbaudran
Germanio	Ge	m	32	72,59	2; 4	1886	Winkler

(1) m metal, n no metal, g gas
(2) Obtenido artificialmente, no existe en la naturaleza

Elementos químicos (*Continuación*)

Elemento	Símbolo	Clase[1]	Número atómico	Peso atómico	Valencia	Año del descubrim.	Descubridor
Hafnio	Hf	m	72	178,49	4	1923	Hevesy y Coster
Helio	He	g	2	4,003	0	1895	Ramsay, Cleve, Langlet
Hidrógeno	H	g	1	1,008	1	1766	Cavendish
Hierro	Fe	m	26	55,85	2; 3; 6	Antigüedad	
Holmio	Ho	m	67	164,93	3	1878	Cleve, Delafontaine, Soret
Indio	In	m	49	114,82	3	1863	Reich y Richter
Iodo	I	n	53	126,9	1; 3; 5; 7	1811	Courtois
Iridio	Ir	m	77	192,2	3; 4	1803	Tennant
Iterbio	Yb	m	70	173,04	3	1878	de Marignac
Itrio	Y	m	39	88,90	3	1794	Gadolin
Lantano	La	m	57	138,91	3	1839	Mosander
Lawrencio[2]	Lr	m	103	257	3	1961	Ghiorso y otros
Litio	Li	m	3	6,94	1	1817	Arfvedson
Lutecio	Lu	m	71	174,97	3	1907	Urbain, James
Magnesio	Mg	m	12	24,31	2	1755	Black
Manganeso	Mn	m	25	54,94	2; 3; 4; 6; 7	1774	Grahn
Mendelevio[2]	Md	m	101	258	1; 2; 3	1955	Seaborg, Ghiorso y otros
Mercurio	Hg	m	80	200,59	1; 2	Antigüedad	
Molibdeno	Mo	m	42	95,94	3; 4; 6	1781	Hjelm
Neodimio	Nd	m	60	144,24	3	1885	Auer v. Welsbach
Neón	Ne	g	10	20,18	0	1898	Ramsay, Travers
Neptunio[2]	Np	m	93	237	3; 4; 5; 6	1940	McMillan, Abelson
Niobio	Nb	m	41	92,91	3; 5	1801	Hatchet
Níquel	Ni	m	28	58,71	2; 3	1751	Cronstedt, Bergmann
Nitrógeno	N	g	7	14,01	2; 3; 5	1772	Rutherford
Nobelio[2]	No	m	102	259	2; 3	1958	Ghiorso, Seaborg
Oro	Au	m	79	196,97	1; 3	Antigüedad	
Osmio	Os	m	76	190,2	2; 3; 4; 8	1803	Tennant
Oxígeno	O	g	8	16,00	2	1774	Priestley, Scheele
Paladio	Pd	m	46	106,4	2; 4	1803	Wollaston
Plata	Ag	m	47	107,87	1; 2	Antigüedad	
Platino	Pt	m	78	195,1	2; 4	Antigüedad	(Mayas)
Plomo	Pb	m	82	207,19	2; 4	Antigüedad	
Plutonio[2]	Pu	m	94	244	3; 4; 5; 6	1940	Seborg y otros
Polonio	Po	m	84	210	6	1898	M. Curie
Potasio	K	m	19	39,10	1	1807	Davy
Praseodimio	Pr	m	59	140,91	3	1885	Auer von Welsbach
Prometio	Pm	m	61	145	3	1945	Marinsky y otros
Protactinio	Pa	m	91	231	5	1917	Hahn, Meitner, Fajans
Radio	Ra	m	88	226,0	2	1898	P. y M. Curie
Radón	Rn	g	86	222	0	1900	Dorn
Renio	Re	m	75	186,2	3; 4; 5; 6; 7	1925	Noddack
Rodio	Rh	m	45	102,9	3	1803	Wollaston
Rubidio	Rb	m	37	85,47	1	1861	Bunsen, Kirchhoff
Rutenio	Ru	m	44	101,07	4; 8	1808	Klaus

Elementos químicos (*Continuación*)

Elemento	Símbolo	Clase[1]	Número atómico	Peso atómico	Valencia	Año del descubrim.	Descubridor
Samario	Sm	m	62	150,35	3	1879	Lecoq de Boishaudran
Selenio	Se	n	34	78,96	2; 4; 6	1817	Berzelius
Silicio	Si	n	14	28,09	4	1824	Berzelius
Sodio	Na	m	11	22,99	1	1807	Davy
Talio	Tl	m	81	204,37	1; 3	1861	Crookes
Tántalo	Ta	m	73	180,95	5	1802	Eckeberg
Tecnecio	Tc	m	43	99	7	1937	Perrier, Segré
Teluro	Te	m	52	127,6	2; 4; 6	1783	Müller
Terbio	Tb	m	65	158,92	3	1843	Mosander
Titanio	Ti	m	22	47,90	2; 3; 4	1791	Gregor
Torio	Th	m	90	232,04	4	1829	Berzelius
Tulio	Tm	m	69	168,93	3	1879	Cleve
Tungsteno	W	m	74	183,84	2; 3; 4; 5; 6	1783	Elhuijar
Unilpentio[2][3]	Unp	m	105	262	5 (?)	1967/70	incierto
Unilquadio[2][3]	Unq	m	104	261	4 (?)	1964/69	incierto
Uranio	U	m	92	238,03	3; 4; 5; 6	1789	Klaproth
Vanadio	V	m	23	50,94	2; 3; 4; 5	1801	Del Rio
Volframio	W	m	74	183,84	2; 3; 4; 5; 6	1783	Elhuijar
Xenón	X	g	54	131,3	0	1898	Ramsay, Travers

[1] m metal, n no metálico, g gas
[2] fabricado artificialmente, no se encuentra en la naturaleza
[3] nomenclatura provisional IUPAC. Hasta ahora no se ha efectuado una ratificación de nombres y símbolos de los elementos del Transfermio por parte del IUPAC Council. Existen las siguientes propuestas de nombres:

- 104 Dubnio (Db), también Curchatovio (Ku) o Rutherfordio (Rf).
- 105 Jolotio (Jl), también Hanio (Hn).

Sobre los elementos 106 a 109 no se han publicado todavía datos de material coincidentes.

- 106 Unilhexio (Unh), también Rutherfordio (Rf),
- 107 Unilseptio (Uns), también Bohrio (Bh) o Nilsborio (Ns),
- 108 Uniloctio (Uno), también Hanio (Hn) o Hassio (Hs),
- 109 Unileneadio (Une), también Meitnerio (Mt).

Sistema periódico de los elementos

Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	VIIIb	VIIIb	Ib	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VLLa	VIIIa
1 **H** 1,008																	2 **He** 4,003
3 **Li** 6,941	4 **Be** 9,012											5 **B** 10,811	6 **C** 12,011	7 **N** 14,007	8 **O** 15,999	9 **F** 18,998	10 **Ne** 20,180
11 **Na** 22,990	12 **Mg** 24,305											13 **Al** 26,982	14 **Si** 28,086	15 **P** 30,974	16 **S** 32,066	17 **Cl** 35,453	18 **Ar** 39,948
19 **K** 39,098	20 **Ca** 40,078	21 **Sc** 44,956	22 **Ti** 47,88	23 **V** 50,942	24 **Cr** 51,996	25 **Mn** 54,938	26 **Fe** 55,847	27 **Co** 58,933	28 **Ni** 58,693	29 **Cu** 63,546	30 **Zn** 65,39	31 **Ga** 69,723	32 **Ge** 72,61	33 **As** 74,922	34 **Se** 78,96	35 **Br** 79,904	36 **Kr** 83,80
37 **Rb** 85,468	38 **Sr** 87,62	39 **Y** 88,906	40 **Zr** 91,224	41 **Nb** 92,906	42 **Mo** 95,94	43 **Tc** 98,906	44 **Ru** 101,07	45 **Rh** 102,906	46 **Pd** 106,42	47 **Ag** 107,868	48 **Cd** 112,411	49 **In** 114,818	50 **Sn** 118,710	51 **Sb** 121,757	52 **Te** 127,60	53 **I** 126,904	54 **Xe** 131,29
55 **Cs** 132,905	56 **Ba** 137,327	57 **La*** 138,906	72 **Hf** 178,49	73 **Ta** 180,948	74 **W** 183,84	75 **Re** 186,207	76 **Os** 190,23	77 **Ir** 192,22	78 **Pt** 195,08	79 **Au** 196,967	80 **Hg** 200,59	81 **Tl** 204,383	82 **Pb** 207,2	83 **Bi** 208,980	84 **Po** (209)	85 **At** (210)	86 **Rn** (222)
87 **Fr** (223)	88 **Ra** 226,025	89 **Ac**** (227)	104 **Unq** (261)	105 **Unp** (262)	106 **Unh** (?)	107 **Uns** (?)	108 **Uno** (?)	109 **Une** (?)									

*	58 **Ce** 140,115	59 **Pr** 140,908	60 **Nd** 144,24	61 **Pm** (145)	62 **Sm** 150,36	63 **Eu** 151,965	64 **Gd** 157,25	65 **Tb** 158,925	66 **Dy** 162,50	67 **Ho** 164,930	68 **Er** 167,26	69 **Tm** 168,934	70 **Yb** 173,04	71 **Lu** 174,967
**	90 **Th** 232,038	91 **Pa** 231,036	92 **U** 238,029	93 **Np** 237,048	94 **Pu** (244)	95 **Am** (243)	96 **Cm** (247)	97 **Bk** (247)	98 **Cf** (251)	99 **Es** (252)	100 **Fm** (257)	101 **Md** (258)	102 **No** (259)	103 **Lr** (260)

Todos los elementos están ordenados según su número atómico creciente (número de protones) en filas horizontales llamadas periodos. Las columnas verticales se llaman grupos. Debajo de los símbolos se indica la masa atómica relativa. Los valores entre paréntesis son los números de masas (números de nucleones) de los isótopos más estables de los elementos radiactivos.

Conceptos básicos de las substancias[1]

Estado de agregación
Según el grado de ordenación de las partículas elementales (átomos, moléculas, iones) de las substancias, se distingue entre tres estados clásicos de agregación, es decir, los tipos básicos de estados de las substancias: sólido, liquido, gaseoso. A esto hay que añadir el plasma (gas ionizado con elevada conductibilidad eléctrica), que se denomina a menudo cuarto estado de agregación.

Disolución
Es una mezcla homogénea de diferentes substancias con distribución atómica o molecular de los componentes.

Compuestos
Unión de elementos químicos en determinadas proporciones de masas. Los compuestos con propiedades metálicas se llaman compuestos metálicos.

Dispersión
La dispersión, o sistema disperso, consta por lo menos de dos substancias, en una de las cuales, el medio de dispersión, se halla finamente distribuida la otra, que constituye la fase dispersa.

Suspensión
Es un sistema disperso en el cual las partículas sólidas están distribuidas en un liquido. Ejemplos: grafito en aceite, arcilla en agua.

Emulsión
Es un sistema disperso en el cual están distribuidas pequeñas gotas de un líquido en un segundo líquido. Ejemplos: aceite de taladrar, la grasa de la leche en la leche.

Coloide
Es un sistema disperso en el cual las partículas de la fase dispersa tienen dimensiones lineales desde aproximadamente 10^{-9} hasta 10^{-6} m. Ejemplos: humo, látex, púrpura de oro y estaño (púrpura de Cassius)

[1] Se citan los conceptos y magnitudes características de los materiales principales que se presentan en las tablas siguientes y que no están definidos en otros lugares.

Densidad
Es la relación de masa a volumen de una determinada cantidad de substancia.

Denominaciones especiales de la densidad, ver DIN 1306, edición 1984.

Resistencia a la rotura radial
Es una característica de resistencia que se da especialmente en los metales sinterizados para cojinetes de deslizamiento. Se determina en el ensayo a presión comprimiendo hasta la rotura un cilindro hueco.
Para más detalles ver "Condiciones Técnicas de suministro de piezas sinterizadas (Sint 03)", edición de agosto de 1981.

Límite elástico al 0,2%
Es la tracción que provoca en un cuerpo sólido un alargamiento permanente (plástico) del 0,2%. El límite elástico del 0,2% a tracción se deduce de la curva σ-ε del ensayo a tracción normal.

Al solicitar de forma cíclica una probeta a tracción y compresión, con amplitud creciente, se obtiene la curva cíclica σ-ε y de ésta el límite elástico al 0,2%. En comparación con el límite elástico al 0,2% a tracción, es una medida de la disminución o elevación con el tiempo de la resistencia en las sobrecargas cíclicas.

La relación del límite elástico γ es el cociente entre el límite elástico al 0,2% cíclico y a tracción. Si $\gamma > 1$ significa aumento de resistencia cíclica y si $\gamma < 1$ disminución de resistencia cíclica.

Tenacidad
La tenacidad, o factor K_{Ic}, es una característica de los materiales con respecto a la mecánica de la rotura. El factor K_{Ic} es la intensidad de la tensión en el extremo de una grieta que provoca su propagación y con ello la rotura de la pieza. Conociendo el factor K_{Ic} de un material se puede calcular, conocida la carga de rotura crítica, la longitud de grieta, o bien la carga exterior, conocida la longitud de grieta crítica.

Calor específico
Calor específico ("capacidad calorífica específica") es la cantidad de calor en J, necesaria para elevar 1 K la temperatura de 1 kg de una substancia. Depende de la temperatura.

En el caso de los gases hay que distinguir entre calor especifico a presión constante y a volumen constante (símbolos c_p o c_v) En el caso de substancias sólidas y líquidas la diferencia es despreciable.

Calor específico de fusión
Es la cantidad de calor en J, necesaria para pasar 1 kg de substancia sólida al estado líquido a la temperatura de fusión.

Calor específico de vaporización
Es la cantidad de calor en J, necesaria para evaporar 1 kg de un liquido, a su temperatura de ebullición. Depende mucho de la presión.

Conductibilidad térmica
Es la cantidad de calor en J, que en 1 s circula por una probeta del material de 1 m^2 de superficie y 1 m de espesor, cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras frontales de la probeta es de 1 K.

La conductibilidad térmica de líquidos y gases depende fuertemente de la temperatura; en las substancias sólidas depende por lo general poco de la temperatura.

Coeficiente de dilatación térmica
Es la variación relativa de longitud de una substancia, para un cambio de temperatura de 1 K. Lo mismo rige para el coeficiente de dilatación cúbica o coeficiente de dilatación volumétrica. El coeficiente de dilatación cúbica asciende en el caso de gases a aproximadamente 1/273. En el caso de sólidos es aproximadamente el triple del coeficiente de dilatación lineal.

Permeabilidad
La permeabilidad μ o el coeficiente de permeabilidad, o la permeabilidad relativa μ_r, describen la dependencia de la inducción magnética del campo aplicado.

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

Según el campo de aplicación del material magnético se definen diferentes permeabilidades (aproximadamente 15), que dependen del margen dinámico y de la solicitación (solicitación en campo continuo o alterno). Ejemplos:

Permeabilidad inicial μ_a
Pendiente de la curva nueva para $H \rightarrow 0$. Sin embargo, casi nunca se da este valor límite, sino la pendiente para una intensidad de campo determinada (en mA/cm). Notación: μ_4 es la pendiente de la curva nueva para $H = 4$ mA/cm.

Permeabilidad máxima μ_{max}
Pendiente máxima de la curva nueva.

Permeabilidad permanente μ_p o μ_{rec}
Pendiente media de una espira magnetizada en desmagnetización cuyo pie casi siempre cae en la curva de desmagnetización:

$$\mu_p = \Delta B/(\Delta H \cdot \mu_0)$$

Coeficiente de temperatura de la polarización magnética $TK(J_s)$
Da la variación relativa de la polarización de saturación con la temperatura en % por Kelvin.

Coeficiente de temperatura de la intensidad de campo coercitivo $TK(H_c)$
Da la variación relativa de la intensidad de campo coercitivo con la temperatura en % por Kelvin.

Punto de Curie (temperatura de Curie) T_c
Indica a qué temperatura es nula la magnetización de materiales ferro y ferromagnéticos y pasan a comportarse como paramagnéticos (ocasionalmente también se define de forma diferente, ver valores característicos de ferritas blandas, pág. 205).

Grupos de materiales

Los materiales introducidos hoy día en la industria pueden dividirse en 4 grupos, que a su vez se dividen en subgrupos:

– Metales: metales fundidos y metales sinterizados.
– Materiales inorgánicos no metálicos: Cerámica y vidrios.
– Materiales orgánicos no metálicos: Substancias naturales y substancias sintéticas.
– Materiales compuestos: Los materiales magnéticos, como grupo importante de propiedades especiales, se describen aparte.

Metales

Los metales tienen por lo general estructura cristalina. Los átomos están ordenados de forma regular en una red cristalina. Los electrones exteriores de los átomos no están unidos a los mismos sino que pueden moverse libremente por la red metálica (enlace metálico).

La peculiaridad de su estructura explica las características particulares de los metales, como son la elevada conductibilidad eléctrica, que disminuye al aumentar la temperatura, la buena conductibilidad térmica, la escasa propagación de luz, la elevada capacidad de reflexión óptica (brillo metálico), la ductilidad y de ésta su buena conformación. Aleaciones son composiciones de dos o más substancias, de las cuales una por lo menos es un metal.

Metales fundidos

No contienen huecos, excepto pequeños defectos como rechupes (poros) e inclusiones no metálicas. Por fusión y colada se producen piezas, ya sea directamente (aluminio colado a presión) o bien como semielaborados que son mecanizados con o sin arranque de viruta.

Metales sinterizados

Generalmente se forman prensando polvo o inyectando mezclas de polvo metálico mezclado con plástico. Después de eliminar los deslizantes y aglomerantes en el sinterizado, con un tratamiento térmico en el intervalo entre 800 y 1300 °C, los cuerpos moldeados adquieren sus propiedades características. Además de la composición química, la proporción de poros determina esencialmente las propiedades y la utilización. De metal sinterizado pueden obtenerse piezas de formas complicadas, ya sea acabadas para su montaje o que precisan sólo un poco de mecanizado posterior y que suelen ser muy económicas.

Materiales inorgánicos no metálicos

En estos materiales existe el enlace iónico (por ejemplo, en las cerámicas), enlace mixto (heteropolar/homopolar) (por ejemplo, el vidrio), o bien enlace homopolar (por ejemplo, el carbono). Este tipo de enlace es por otra parte importante para algunas propiedades características; por lo general, mala conductibilidad térmica y eléctrica (esa última aumenta con la temperatura), poca reflexión de luz, fragilidad y por ello prácticamente no pueden ser conformados en frío.

Cerámica

Los materiales cerámicos contienen como mínimo un 30 % de materia cristalina y además, en la mayoría de los casos, una parte amorfa y poros. De modo similar a los metales sinterizados, se moldean con polvos o mezclas de polvos pero de substancias no metálicas y obtienen sus propiedades características por sinterización a temperaturas generalmente superiores a 1000 °C. A veces también se les da la forma a alta temperatura o completamente por encima de su punto de fusión con cristalización posterior.

Vidrios

Los vidrios se consideran líquidos ultracongelados. En ellos sólo hay una ordenación próxima de los átomos. Son designados como amorfos. En la temperatura de transformación T_g se solidifica el vidrio fundido. T_g depende de diferentes parámetros y por ello no tiene un valor claramente determinado (por lo que es mejor referirse a un intervalo de transformación).

Materiales orgánicos no metálicos

Estos materiales constan principalmente de compuestos de los elementos carbono e hidrógeno, aunque muchas veces también incorporan nitrógeno, oxígeno y otros elementos. Por lo general son materiales poco conductores del calor y la electricidad y son combustibles.

Materiales naturales

Los materiales naturales más conocidos son la madera, el cuero, la resina, el caucho natural, y las fibras de lana, algodón, lino, cáñamo y seda. En su mayor parte se utilizan modificados o mejorados, o como materia prima para plásticos.

Plásticos

Los plásticos tienen como característica principal una estructura macromolecular. Se dividen en termoplásticos, termoestables y elastómeros. En los termoplásticos y termoestables, su temperatura de transformación T_E está por encima de la temperatura de utilización, y en el caso de los elastómeros, por debajo. Por T_E (comparable a la temperatura de transformación T_g de los vidrios), se entiende aquella por debajo de la cual queda bloqueado el movimiento propio de las moléculas. La importancia sobresaliente de los termoplásticos y termoestables reside en la posibilidad de conformados sin mecanizado con arranque de viruta.

Termoplásticos

Los termoplásticos por encima de T_E pierden su forma por reblandecimiento. Sus propiedades resistentes dependen mucho de la temperatura. Mezclando polímeros termoplásticos se puede reducir algo esta dependencia de la temperatura.

Termoestables

Los termoestables, gracias a su densa red, conservan su forma hasta cerca de la temperatura a la que son elaborados. Sus propiedades mecánicas dependen menos de la temperatura que las de los termoplásticos. A causa de su fragilidad, por lo general las resinas termoplásticas se condicionan con cargas de relleno.

Elastómeros

Los elastómeros se utilizan por su elasticidad como goma, que sólo la tienen por encima de T_E. Para garantizar el mantenimiento de los enlaces moleculares, los elastómeros se vulcanizan (reticulación grande).

Materiales compuestos

Los materiales compuestos constan por lo menos de dos materias, química o físicamente diferentes, que deben quedar unidas sólidamente entre sí en una capa límite. Su formación debe discurrir sin variación negativa de los componentes que se unen. Bajo estas dos condiciones existe la posibilidad de combinar entre sí muchos materiales. Los materiales compuestos poseen combinaciones de propiedades que ninguno de los componentes posee de por sí. Se dividen en:

Compuestos de partículas: (Por ejemplo, resinas cargadas con polvo, metales duros, imanes unidos con plásticos, cermets.)
Materiales estratificados: (Por ejemplo, contrachapados, telas prensadas.)
Materiales con fibras: (Por ejemplo, plásticos reforzados con fibra de vidrio, de carbono o de algodón.)

Materiales magnéticos

Los materiales con propiedades ferro o ferrimagnéticas se llaman magnéticos. Pertenecen al grupo de los metales o al de los materiales inorgánicos no metálicos. Sus características son la capacidad de almacenar energía magnética (imanes permanentes) o sus buenas propiedades conductoras del flujo magnético (imanes blandos). Junto a los imanes ferromagnéticos o ferromagnéticos están también las substancias diamagnéticas, paramagnéticas y antiferromagnéticas. La diferenciación estrecha en el valor de la permeabilidad μ (pág. 78) o en la dependencia de la temperatura de la susceptibilidad x.[1]

$$\mu_r = 1 + x$$

[1] Relación entre la magnetización de una substancia y la intensidad del campo magnético o excitación.

Diamagnéticos: La susceptibilidad $\kappa_{Día}$ es independiente de la temperatura. Ejemplos en página 78.
Paramagnéticos: La susceptibilidad κ_{Para} desciende al aumentar la temperatura. Ley de Curie:

$$\kappa_{Para} = C/T$$

C, constante de Curie, *T*, temperatura en K. Ejemplos en página 78.
Ferro y ferrimagnéticos: Ambos presentan magnetización espontánea, que desaparece en el punto de Curie (temperatura de Curie T_C). Por encima de la temperatura de Curie se comportan como paramagnéticos. Para la susceptibilidad κ se cumple para $T > T_C$ la ley de Curie-Weiss:

$$\kappa = C/(T - T_C)$$

Las substancias ferromagnéticas tienen inducciones de saturación mayores que las ferrimagnéticas puesto que en ellas todos los momentos están orientados paralelamente. En las ferrimagnéticas por el contrario, los momentos de ambas subredes están orientados antiparalelamente. Puesto que los momentos de ambas subredes son de diferente magnitud, resulta no obstante una magnetización externa efectiva.
Antiferromagnéticas: Ejemplos: MnO, MnS, $FeCl_2$, FeO, NiO, Cr, V_2O_3, V_2O_4.
Al igual que en las ferrimagnéticas los momentos vecinos son antiparalelos, pero como son de igual magnitud, no resulta ninguna magnetización eficaz.

Por encima del punto de Néel (temperatura de Néel) se comportan como paramagnéticas. Para la susceptibilidad, con $T > T_N$ se cumple:

$$\kappa = C/(T + \theta)$$

θ Temperatura de Curie asintótica.

Materiales magnéticos blandos
Los valores dados están extractados de las normas DIN correspondientes.
Materiales metálicos magnéticos blandos (DIN-IEC 404-8-6)
Las calidades de materiales definidas en esta norma corresponden en parte a los materiales de DIN 17 405 (relés de corriente continua) y DIN 41 301 (Transmisores).
Designación:
Letra indicativa número 1 número 2 – número 3. La "letra indicativa" define al componente principal de la aleación:
"A" hierro puro, "C" silicio, "E" níquel, "F" cobalto.
El número 1 se utiliza para diferenciar el contenido del elemento principal de la aleación.
El número 2 diferencia entre las formas de las curvas: 1 ciclo de histéresis redonda; 2 ciclo de histéresis rectangular.
El número 3, después del guión tiene importancia para las diferentes aleaciones. En el caso de las aleaciones de níquel indica la permeabilidad inicial mínima $\mu_a/1000$, en las demás aleaciones la fuerza de campo coercitiva máxima en A/m. Las propiedades de estos materiales dependen mucho de la geometría y en un alto grado específicamente de la aplicación. Por ello los valores citados como extracto de las normas sólo pueden dar una sinopsis muy generalizada de las cualidades de estos materiales. Valores de los materiales en pág. 200.

Chapa y banda eléctrica [EB] (anteriormente en DIN 46 400)
Designación: Letra indicativa 1 número 1 – número 2 letra indicativa 2. La letra indicativa 1 es "M" para todas las calidades (define materiales metálicos). El número 1 indica en W/kg el múltiplo de cien veces el valor máximo de la pérdida en la transformación de la imantación a 1,5 T o 1,7 T y 50 Hz. El número 2 es cien veces el espesor nominal en mm del producto.
La letra indicativa 2 diferencia entre los tipos:
"A" EB laminada en frío, sin orientación de la fibra, en estado del revenido final DIN-EN 10 106)
EB con orientación de la fibra (DIN-EN 10 107): "N" pérdidas normales de transformación de imantación, "S" pérdidas limitadas, "P" pérdidas reducidas, "D" EB laminada en frío de aceros no aleados en estado sin revenido final (DIN-EN 10 126), "E" EB laminada en frío de aceros aleados sin revenido final (DIN-EN 10 126). Valores de los materiales en la pág. 201.

Materiales para transmisores (DIN 41 301)
Definición: Permeabilidad del material μ_x

$$\mu_x = \hat{B}/(\hat{H} \cdot \mu_0)$$

siendo $\hat{B}$ el valor máximo de la oscilación fundamental de la inducción y $\hat{H}$ el valor

máximo de la intensidad de campo sinusoidal. El índice *x* da la intensidad del campo medido, en A/cm. Valores de los materiales en la página 202.
Materiales para relés de corriente continua
(DIN 17 405), valores página 203.
Denominación:
a) Letra característica R (material para relés).
b) Letras características para los símbolos de los componentes de la aleación:
Fe sin alear, Si acero al silicio, Ni aceros o aleaciones al níquel
c) Número indicativo del valor máximo de la intensidad de campo coercitivo.
d) Letra indicativa del estado de suministro deseado. U sin tratar, GB recocido previo para que se pueda doblar, GT recocido previo para embutición profunda, GF recocido final

En DIN-IEC 404-8-10 se indican los principales valores de las desviaciones límite para materiales magnéticos para relés de hierro y de acero. La designación en esta norma está constituida por:
- letra indicativa "M"
- valor máximo admitido de la fuerza del campo coercitivo en A/m
- letra indicativa para la composición del material: "F" hierro puro, "T" acero de aleación, "U" acero sin aleación
- letra indicativa para la condición de suministro: "H" laminado en caliente, "C" laminado o estirado en frío.

Ejemplo: M 80 TH.
Metales sinterizados para componentes magnéticamente blandos (DIN-IEC 404-8-9)
Designación:
- letra indicativa "S" para materiales sinterizados
- guión seguido de los elementos de potencia significativos, es decir Fe más eventualmente P, Si, Ni o Co.
- después de un ulterior guión sigue la densidad máxima admitida del campo coercitivo en A/m. Valores de los materiales pág. 204.

Núcleos de ferrita magnéticamente blandos (DIN 41 280)
Las ferritas magnéticamente blandas son piezas moldeadas de material sinterizado de fórmula general $MO \cdot Fe_2O_3$ en la que M es uno o varios de los metales bivalentes, Cd, Co, Ca, Mg, Mn, Ni, Zn.
Designación: Las clases se dividen según el valor nominal de la permeabilidad inicial, en grupos principales, que se indican por medio de letras mayúsculas. Añadiendo números adicionales se pueden dividir a su vez en subgrupos pero estos no representan ninguna valoración cualitativa.

La intensidad de campo coercitivo de las ferritas blandas H_c está frecuentemente en el intervalo de 4 a 500 A/m. La inducción *B* para un campo de 3000 A/m está en el intervalo de 350 a 470 mT.
Valores en la página 205.

Materiales para imanes permanentes
(DIN 17410, IEC 404-1)
Puesto que se emplean símbolos químicos en los nombres abreviados de los materiales, estos indican los componentes principales de las aleaciones. Los números en las abreviaciones delante de la barra inclinada denotan el valor $(B\text{-}H)_{max}$ en kJ/m^3 y después de la barra inclinada una décima parte del valor H_{cJ} en kA/m (valores redondeados). Los imanes permanentes con medio aglomerante se identifican porque llevan la letra p al final.

Designación mediante nombres abreviados o con el número de material[1]
DIN: Número de material según DIN 17 007, partes 2ª y 4ª.
IEC: Estructura de los números de material:
Letra indicativa:
R – Materiales metálicos de imantación permanente
S – Materiales cerámicos de imantación permanente
Primer número: Designa el tipo de material, p.ej. 1 AlNiCo, 5 RECo
Segundo número: 0: material isotrópico, 1: material anisotrópico, 2: material isotrópico con aglomerante, 3: material anisotrópico con aglomerante, tercer número: Designa los diferentes niveles de calidad.
Valores de los materiales pág. 205.

[1] En la actualidad se está elaborando un nuevo sistema de designación de los materiales de imantación permanente. Pero ya que las discusiones en relación con ello aún no han terminado, no se han podido hacer indicaciones al respecto al cierre de esta edición.

Valores característicos de materiales sólidos[9]

Material	Densidad g/cm³	Temperatura fusión[1] °C	Temperatura ebull.[1] °C	Conductibilidad térmica[2] W/(m · K)	Calor específico medio[3] kJ/(kg · K)	Entalpía de fusión[4] kJ/kg	Coef. dilat. lineal[3] × 10⁻⁶/K
Acero al cromo	–	–	–	–	–	–	11
Acero de wolframio (18W)	8,7	1450	–	26	0,42	–	–
Acero inoxidable (18Cr, 8Ni)	7,9	1450	–	14	0,51	–	16
Acero n. aleado y poco aleado	7,9	1460	2500	48...58	0,49	205	11,5
Acero níquel 36% Ni (Invar)	–	–	–	–	–	–	1,5
Acero para imanes AlNiCo 12/6	–	–	–	–	–	–	11,5
Acero rápido	–	–	–	–	–	–	11,5
Acero sinterizado	–	–	–	–	–	–	11,5
Acetato de celulosa	1,3	–	–	0,26	1,47	–	100...160
Aleac. aluminio	2,60...2,85	480...655	–	70...240	–	–	21...24
Aleac. de magnesio	≈ 1,8	≈ 630	1500	46...139	–	–	24,5
Aleac. p. res. calef. NiCr 8020	8,3	1400	2350	14,6	0,50[6]	–	–
Aleac. resist. CuNi 44	8,9	1280	≈ 2400	22,6	0,41	–	15,2
Algodón	0,01	–	–	0,04		–	–
Alpaca	8,7	1020	–	48	0,40	–	18
Aluminio Al	2,70	660	2467	237	0,90	395	23,0
Ámbar	1,0...1,1	≈ 300	desc.	–	–	–	–
Amianto	2,1...2,8	≈ 1300	–	–	0,81	–	–
Antinonio Sb	6,69	630,8	1635	24,3	0,21	172	8,5
Arcilla seca	1,5...1,8	≈ 1600	–	0,9...1,3	0,88	–	–
Arena de cuarzo seca	1,5...1,7	≈ 1500	2230	0,58	0,80	–	–
Arsénico As	5,73	–	613[5]	50,0	0,34	370	4,7
Asfalto	1,1...1,4	80...100	≈ 300	0,70	0,92	–	–
Azufre (*a*) S	2,07	112,8	444,67	0,27	0,73	38	74
Azufre (*β*) S	1,96	119,0	–	–	–	–	–
Bario Ba	3,50	729	1637	18,4	0,28	55,8	18,1...21,0
Bario Ba	3,50	729	1637	18,4	0,28	55,8	18,1...24
Basalto	2,6...3,3	–	–	1,67	0,86	–	–
Berilio Be	1,85	1278	2970	200	1,88	1087	11,5
Betún	1,05	≈ 90	–	0,17	1,78	–	–
Bismuto Bi	9,75	271	1551	8,1	0,13	59	12,1
Bórax	1,72	740	–	–	1,00	–	–
Boro B	2,34	2027	3802	27,0	1,30	2053	5
Brea	1,25	–	–	0,13	–	–	–
Bronce CuSn6	8,8	910	2300	64	0,37	–	17,5
Bronce rojo CuSn5ZnPb	88,8	950	2300	38	0,67	–	–
Cadmio Cd	8,65	321,1	765	96,8	0,23	54,4	29,8
Calcio Ca	1,54	839	1492	200	0,62	233	22
Carbón vegetal	0,3...0,5	–	–	0,084	1,0	–	–
Carborundo sinterizado	–	–	–	–	–	–	6,5[9]
Carburo de silicio	2,4	desc. > 300 °C		9[8]	1,05[8]	–	4,0
Cartón asfaltado	1,1	–	–	0,19	–	–	–
Caucho en bruto	0,92	125	–	0,15	–	–	–
Cemento fraguado	2...2,2	–	–	0,9...1,2	1,13	–	–
Cera	0,96	60	–	0,084	3,4	–	–
Chapa de ac. magnético	–	–	–	–	–	–	12
Cinc Zn	7,14	419,58	907	116	0,38	102	25,0
Circonio Zr	6,51	1852	4377	22,7	0,28	252	5,8

[1] A 1,013 bar. [2] A 20 °C. Δ*H* de los elementos químicos a 27 °C (300 K). [3] Entre 0 y 100 °C, véase también pág. 179. [4] A temperatura de fusión y 1,013 bar. [5] Sublimado. [6] En forma de polvo. [7] Entre –20 y 0 °C. [8] Entre –20 y –1 °C. [9] Materiales, véase págs. 191 a 221.

Material	Densidad g/cm³	Temperatura fusión[1] °C	Temperatura ebull.[1] °C	Conductibilidad térmica[2] W/(m · K)	Calor específico medio[3] kJ/(kg · K)	Entalpía de fusión[4] kJ/kg	Coef. dilat. lineal[3] × 10⁻⁶/K
Cloruro de bario	3,86	963	1560	–	0,38	108	–
Cloruro de calcio	2,15	782	>1600	–	0,69	–	–
Cloruro de polivinilo (PVC)	1,4	–	–	0,16	–	–	70...150
Cobalto Co	8,9	1495	2956	69,1	0,44	268	12,4
Cobre Cu	8,96	1084,9	2582	401	0,38	205	–
Colofonia	1,08	100...130	desc.	0,32	1,21	–	–
Coque	1,6...1,9	–	–	0,18	0,83	–	–
Corcho	0,1...0,3	–	–	0,04...0,06	1,7...2,1	–	–
Cristal de cuarzo	–	–	–	–	–	–	0,5
Cromo Cr	7,19	1875	2482	93,7	0,45	294	6,2
Cuarzo	2,1...2,5	1480	2230	9,9	0,80	–	8[6]/14,6[7]
Cuero seco	0,86...1	–	–	0,14...0,16	≈ 1,5	–	
Diamante	3,5	3820	–	–	0,52	–	1,1
Escoria de alto horno	2,5...3	1300...1400	–	0,14	0,84	–	–
Espuma rígida, expand. en aire[5]	0,015...0,06	–	–	0,036...0,06	–	–	–
exp. en freón	0,015...0,06	–	–	0,02...0,03	–	–	–
Estaño Sn	7,28	231,97	2270	65,7	0,23	61	21,2
Fibra culcanizada	1,28	–	–	0,21	1,26	–	–
Fósforo (amarillo) P	1,82	44,1	280,4	–	0,79	20	–
Fundición gris	7,25	1200	2500	58	0,50	125	10,5
Germanio Ge	5,32	937	2830	59,5	0,31	478	5,6
Goma blanda	1,08	–	–	0,14...0,24	–	–	–
Goma dura	1,2...1,5	–	–	0,16	1,42	–	50...90[8]
Gomaespuma	0,06...0,25	–	–	0,04...0,06	–	–	–
Grafito puro C	2,24	≈ 3800	≈ 4200	168	0,71	–	2,7
Granito	2,7	-	–	3,49	0,83	–	–
Hielo (0 °C)	0,92	0	100	2,33[7]	2,09[7]	333	51[8]
Hierro puro Fe	7,87	1535	2887	80,2	0,45	267	12,3
Hollín	1,7...1,8	–	–	0,07	0,84	–	–
Hormigón	1,8...2,2	–	–	≈ 1,0	0,88	–	–
Incrust. de calderas	≈ 2,5	≈ 1200	–	0,12...2,3	0,80	–	–
Indio In	7,29	156,6	2006	81,6	0,24	28,4	33
Iodo I	4,95	113,5	184	0,45	0,22	120,3	–
Iridio Ir	22,55	2447	4547	147	0,13	137	6,4
Latón CuZn37	8,4	900	1110	113	0,38	167	18,5
Linóleo	1,2	–	–	0,19	–	–	–
Litio Li	0,534	180,5	1317	84,7	3,3	663	56
Madera[1] Arce	0,62	–	–	0,16	2,1...2,9	–	En el sentido fibra 3 a 4, transversalm. a la fibra 22 a 43
Balsa	0,20	–	–	0,06		–	
Abedul	0,63	–	–	0,14		–	
Haya	0,72	–	–	0,17		–	
Roble	0,69	–	–	0,17		–	
Fresno	0,72	–	–	0,16		–	
Abeto	0,45	–	–	0,14		–	
Pino	0,52	–	–	0,14		–	
Nogal	0,65	–	–	0,15		–	
Álamo	0,50	–	–	0,12		–	

[1] A 1,013 bar. [2] A 20 °C. Δ*H* de los elementos químicos a 27 °C (300 K). [3] Entre 0 y 100 °C. [4] A temperatura de fusión y 1,013 bar. [5] Espuma rígida de resina fenólica, poliestireno, polietileno, etc. Los valores dependen del diámetro de las celdas y del gas expandido. [6] De 0 a 1000°C. [7] Valores medios para la madera seca (humedad, aproximadamente, 12%). Valor de la conductibilidad térmica radial; la axial es aproximadamente doble. [8] De 20 a 50°C.

Valores característicos de materiales sólidos[10] (*Continuación*)

Material		Densidad g/cm³	Temperatura fusión[1] °C	Temperatura ebull.[1] °C	Conductibilidad térmica[2] W/(m · K)	Calor específico medio[3] kJ/(kg · K)	Entalpía de fusión[4] kJ/kg	Coef. dilat. lineal[3] $\times 10^{-6}$/K
Magnesio		1,74	648,8	1100	156	1,02	372	26,1
Manganeso	Mn	7,47	1244	2100	7,82	0,48	362	22
Mármol	$CaCO_3$	2,6...2,8	desc. en CaO y CO_2		2,8	0,84	–	–
Metal duro		14,8	>2000	≈ 4000	81,4	0,080	–	5...7
Metal Monel		8,8	1240...1330	–	19,7	0,43	–	–
Mica		2,6...2,9	desc. a 700 °C		0,35	0,87	–	3
Minio de plomo	Pb_3O_4	8,6...9,1			0,70	0,092	–	–
Molibdeno	Mo	10,22	2623	5560	138	0,28	288	5,4
Mortero de cal		1,6...1,8	–	–	0,87	–	–	–
Mortero de cemento		1,6...1,8	–	–	1,40	–	–	–
Muros de ladrillos		> 1,9	–	–	1,0	0,9	–	–
Niobio	Nb	8,58	2477	4540	53,7	0,26	293	7,1
Níquel	Ni	8,90	1455	2782	90,7	0,46	300	13,3
Oro	Au	19,32	1064	2967	317	0,13	64,5	14,2
Osmio	Os	22,57	3045	5027	87,6	0,13	154	4,3...6,8
Óxido de cromo	Cr_2O_3	5,21	2435	4000	0,42[6]	0,75	–	–
Óxido de plomo pil.	PbO	9,3	880	1480	–	0,22	–	–
Paladio	Pd	12,0	1554	2927	71,8	0,24	162	11,2
Papel		0,7...1,2	–	–	0,14	1,34	–	–
Parafina		0,9	52	300	0,26	3,27	–	–
Piedra arenisca		2...2,25	≈ 1500	–	2,3	0,71	–	–
Placas constr. de lana de madera		0,36...0,57	–	–	0,093	–	–	–
Plata	Ag	105	961,9	2195	429	0,24	104,7	19,2
Platino	Pt	21,45	1769	3827	71,6	0,13	101	9
Plomo	Pb	11,3	327,5	1749	35,5	0,13	24,7	29
Plutonio	Pu	19,8	640	3454	6,7	0,14	11	55
Poliamida		1,1	–	–	0,31	–	–	70...150
Policarbonato		1,2	–	–	0,20	1,17	–	60...70
Poliestireno		1,05	–	–	0,17	1,3	–	70
Polietileno		0,94	–	–	0,41	2,1	–	200
Porcelana		2,3...2,5	≈ 1600	–	1,6[5]	1,2[5]	–	4...5
Potasio	K	0,86	63,65	754	102,4	0,74	61,4	83
Radio	Ra	5	700	1630	18,6	0,12	32	20,2
Renio	Re	21,02	3160	5762	150	0,14	178	8,4
Rubidio	Rb	1,53	38,9	688	58	0,33	26	90
Sal de cocina		2,15	802	1440	–	0,92	-	–
Sebo		0,9...0,97	40...50	≈ 350	–	0,87	–	–
Selenio	Se	4,8	217	648,9	2,0	0,34	64,6	37
Silicio	Si	2,33	1410	2480	148	0,68	1410	4,2
Silimanita		2,4	1820	–	1,51	1,0	–	–
Sodio	Na	0,97	97,81	883	141	1,24	115	706
Tántalo	Ta	16,65	2996	5487	57,5	0,14	174	6,6
Tela y papel endurec.		1,3...1,4	–	–	0,23	1,47	–	10...25[8]
Telurio	Te	6,24	449,5	989,8	2,3	0,20	106	16,7

[1] A 1,013 bar. [2] A 20 °C. Δ*H* de los elementos químicos a 27 °C (300 K). [3] Entre 0 y 100 °C. [4] A temperatura de fusión y 1,013 bar. [5] A 800 °C. [6] Paralela al eje cristalino. [7] Perpendicular al eje cristalino. [8] A 1000 °C. [9] De 20 a 1000 °C. [10] Materiales págs. 191 a 221.

Material		Densidad g/cm³	Temperatura fusión[1] °C	Temperatura ebull.[1] °C	Conductibilidad térmica[2] W/(m · K)	Calor específico medio[3] kJ/(kg · K)	Entalpía de fusión[4] kJ/kg	Coef. dilat. lineal[3] $\times 10^{-6}$/K
Termoestables								
Resina fenólica s. mat. carga		1,3	–	–	0,20	1,47	–	80
Resina fenólica c. fib. amianto		1,8	–	–	0,70	1,25	–	15...30
Resina fenólica c. serrín		1,4	–	–	0,35	1,47	–	30...50
Resina fenólica c. tela desmenuzada		1,4	–	–	0,35	1,47	–	15...30
Resina de melamina c. fibra celulósica		1,5	–	–	0,35	–	–	≈ 60
Tierra refractaria		1,7...2,4	≈ 2000	–	1,4	0,80	–	–
Titanio	Ti	4,51	1660	3313	21,9	0,52	437	8,3
Tiza (creta)		1,8...2,6	desc. en CaO y CO_2		0,92	0,84	–	–
Torio	Th	11,72	1750	4227	54	0,14	< 83	12,5
Tumbaga CuZn 20		8,65	1000	≈ 1300	159	0,38	–	–
Turba secada al aire		0,19	–	–	0,081	–	–	–
Uranio	U	18,95	1132,3	3677	27,6	0,12	65	12,6
Vanadio	V	6,11	1890	3000	30,7	0,50	3,45	8,3
Vidrio de ventana		2,4...2,7	≈ 700	–	0,81	0,83	–	≈ 8
Wolframio	W	19,25	3422	5727	174	0,13	161	4,6
Yeso		2,3	1200	–	0,45	1,09	–	–

[1] A 1,013 bar. [2] A 20 °C. Δ*H* de los elementos químicos a 27 °C (300 K). [3] Entre 0 y 100 °C. [4] A temperatura de fusión y 1,013 bar. [5] De 20 a 1000 °C. [6] De 100 a 200 °C.

Valores característicos de las substancias líquidas

Substancia		Densidad[2] g/cm³	Temperatura fusión[1] °C	Temperatura ebullición[1] °C	Conductibilidad calorífica[2] W/(m · K)	Calor específico[2] kJ/(kg · K)	Calor latente fusión[3] kJ/kg	Calor latente vaporiz.[4] kJ/kg	Coeficiente dilatación volumétr. x 10⁻³/K
Aceite combustible		≈ 0,83	-10	> 175	0,14	2,07	–	–	–
Aceite de colza		0,91	±0	300	0,17	1,97	–	–	–
Aceite de linaza		0,93	-15	316	0,17	1,88	–	–	–
Aceite de parafina		–	–	–	–	–	–	–	0,764
Aceite de silicona		0,76...0,98	–	–	0,13	1,09	–	–	–
Aceite de transformadores		0,88	-30	170	0,13	1,88	–	–	–
Aceite de trementina		0,86	-10	160	0,11	1,80	–	293	1,0
Aceite lubricante		0,91	-20	>300	0,13	2,09	–	–	–
Acetona	$(CH_3)_2CO$	0,79	-95	56	0,16	2,21	98,0	523	–
Ácido clorhídrico, 10%	HCl	1,05	-14	102	0,50	3,14	–	–	–
Ácido nítrico, conc.	HNO_3	1,51	-41	84	0,26	1,72	–	–	–
Ácido sulfúrico, conc.	H_2SO_4	1,83	+10,5[5]	338	0,47	1,42	–	–	0,55
Agua		1,00[7]	±0	100	0,60	4,18	332	2256	0,18[8]
Alcohol desnatural 95%[6]		0,81	-114	78	0,17	2,43	–	–	–
Alquitrán (de coque)		1,2	-15	300	0,19	1,56	–	–	–
Benceno	C_6H_5	0,88	+5,5[6]	80	0,15	1,70	127	394	1,25
Cloruro de etilo	C_2H_5Cl	0,90	-136	12	0,11[5]	1,54[5]	69,0	437	–
Cloruro de metilo	CH_3Cl	0,99[7]	-92	-24	0,16	1,38	–	406	–
Diesel		0,81...0,85	-30	150...360	0,15		–	–	–
Disol. de sal común (20%)		1,15	-18	109	0,58	3,43	–	–	–
Etanol	C_2H_5OH	0,79	-117	78,5	0,17	2,43	109	904	1,1
Eter de petróleo		0,66	-160	> 40	0,14	1,76	–	–	–
Eter etílico	$(C_2H_5)_2O$	0,71	-116	34,5	0,13	2,28	98,1	377	1,6
Etilenglicol	$C_2H_4(OH)_2$	1,11	-12	198	0,25	2,40	–	–	–

[1] A 1,013 bar. [2] A 20°C. [3] A la temperatura de fusión y 1,013 bar. [4] A la temperatura de ebullición y 1,013 bar. [5] A 0°C. [6] Temperatura de solidificación 0°C. [7] A – 24 °C. [8] Para convertir Torr en Pa utilizar 13,5951 g/cm³ (0 °C).

Substancia		Densidad[2] g/cm³	Temperatura fusión[1] °C	Temperatura ebullición[1] °C	Conductibilidad calorífica[2] W/(m · K)	Calor específico[2] kJ/(kg · K)	Calor latente fusión[3] kJ/kg	Calor latente vaporiz.[4] kJ/kg	Coeficiente dilatación volumétr. x 10⁻³/K
Gasolina		0,72...0,75	-50...-30	25...210	0,13	2,02	–	–	1,0
Glicerina	$C_3H_5(OH)_3$	1,26	+20	290		2,37	200	828	0,5
Mercurio[8]	Hg	13,5	-39	356,6	10	0,14	11,6	295	0,18
Metanol	CH_3OH	0,79	-98	65	0,20	2,51	99,2	1109	–
Mezcla anticongelante con agua									
23% en volumen		1,03	-12	101	0,53	3,94	–	–	–
38% en volumen		1,04	-25	103	0,45	3,68	–	–	–
54% en volumen		1,06	-46	105	0,40	3,43	–	–	–
Petróleo		0,76...0,86	-70	> 150	0,13	2,16	–	–	1,0
Tolueno	C_7H_8	0,87	-93	111	0,14	1,67	74,4	364	–
Tricloroetileno	C_2HCl_3	1,46	-85	87	0,12	0,93	–	265	1,19
m-Xileno	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,86	-48	139	–	–	–	339	–

Vapor de agua

Presión absoluta bar	Temperatura ebullición °C	Entalpía vaporización kJ/kg
0,1233	50	2382
0,3855	75	2321
1,0133	100	2256
2,3216	125	2187
4,760	150	2113
8,925	175	2031
15,55	200	1941

Presión absoluta bar	Temperatura ebullición °C	Entalpía vaporización kJ/kg
25,5	225	1837
39,78	250	1716
59,49	275	1573
85,92	300	1403
120,5	325	1189
165,4	350	892
221,1	374,2	0

[1] A 1,013 bar.
[2] A 20 °C.
[3] A la temperatura de fusión y 1,013 bar.
[4] A la temperatura de ebullición y 1,013 bar.
[5] Temperatura de solidificación 0°C.
[6] Etanol desnaturalizado.
[7] A 4°C.
[8] Dilatación cúbica en la solidificación: 9%.

Valores característicos de las substancias gaseosas

Substancia		Densidad[(1)] g/cm³	Temp. congelación[(2)] °C	Temp. ebullición[(2)] °C	Conductibilidad térmi.[(3)] W/(m · K)	Capacidad calorífica kJ/(kg · K) c_p	c_v	c_p/c_v	Entalpía vaporiz.[(2)] kJ/kg
Acetileno	C_2H_2	1,17	–84	–81	0,021	1,64	1,33	1,23	751
Ácido clorhídrico	HCl	1,64	–114	–85	0,014	0,81	0,57	1,42	–
Ácido sulfhídrico	H_2S	1,54	–86	–61	–	0,96	0,72	1,34	535
Aire		1,293	–220	–191	0,026	1,005	0,716	1,40	209
Amoníaco	NH_3	0,77	–78	–33	0,024	2,06	1,56	1,32	1369
Argón	Ar	1,78	–189	–186	0,018	0,52	0,31	1,67	163
i-Butano	C_4H_{10}	2,67	–145	–10,2	0,016	–	–	1,11	–
n-Butano	C_4H_{10}	2,70	–138	–0,5	0,016	–	–	–	–
Cianógeno (Dicián)	$(CN)_2$	2,33	–34	–21	–	1,72	1,35	1,27	–
Cloro	Cl_2	3,21	–101	–35	0,009	0,48	0,37	1,30	288
Cloruro de metilo	CH_3Cl	2,31	–92	–24	–	0,74	0,57	1,29	446
Criptón	Kr	3,73	–157	–153	0,0095	0,25	0,15	1,67	108
Difluorodiclorometano (Freón)	CCl_2F_2	5,51	–140	–30	0,010	–	–	1,14	–
Dióxido de azufre	SO_2	2,93	–73	–10	0,010	0,64	0,46	1,40	402
Dióxido de carbono	CO_2	1,98	–54[(4)]	–78	0,016	0,82	0,63	1,30	368
Etano	C_2H_6	1,36	–183	–89	0,021	1,66	1,36	1,22	522
Etileno	C_2H_4	1,26	–169	–104	0,020	1,47	1,18	1,24	516
Flúor	F_2	1,70	–220	–188	0,025	0,83	–	–	172
Gas ciudad		0,56...0,61	–230	–210	0,064	2,14	1,59	1,35	–
Gas de alto horno		1,28	–210	–170	0,024	1,05	0,75	1,40	–
Gas natural		≈ 0,83	–	–162	–	–	–	–	–
Helio	He	0,18	–270	–269	0,15	5,20	3,15	1,65	20
Hidrógeno	H_2	0,09	–258	–253	0,181	14,39	10,10	1,42	228
Metano	CH_4	0,72	–183	–164	0,033	2,19	1,68	1,30	557
Neón	Ne	0,90	–249	–246	0,049	1,03	0,062	1,67	86
Nitrógeno	N_2	1,24	–210	–196	0,026	1,04	0,74	1,40	199
Óxido de carbono	CO	1,25	–199	–191	0,025	1,05	0,75	1,40	–
Oxígeno	O_2	1,43	–218	–183	0,267	0,92	0,65	1,41	213
Ozono	O_3	2,14	–251	–112	0,019	–	–	1,29	–
Propano	C_3H_8	2,00	–182	–42	0,018	–	–	1,14	468
Propileno	C_3H_6	1,91	–185	–47	0,017	–	–	–	
Sulfuro de carbono	CS_2	3,41	–112	+46	0,0073	0,67	0,56	1,19	–
Vapor de agua a 100°C[(5)]		0,60	±0	+100	0,025	2,01	1,52	1,32	–
Vapor de etanol		2,04	–114	+78	0,015	–	–	1,13	–
Xenón	X	5,89	–112	–108	0,0057	0,16	0,096	1,67	96

(1) A 0 °C y 1,013 bar.
(2) A 1,013 bar.
(3) A 20 °C y 1,013 bar
(4) A 5,3 bar.
(5) A saturación y 1,013 bar. Véase también tabla "Valores característicos de las substancias líquidas".

Valores de las propiedades de los materiales metálicos

Material	DIN	Nombre abreviado selección de algunos tipos	Componentes principales de aleación, valor medio de la proporción de masa en %	R_m[(1)] N/mm²	R_e[(2)] N/mm²	A_5[(3)] %	σ_{bW}[(4)] Valor orientativo N/mm²	Probeta Φ[(5)] mm	Indicaciones
Fundición gris y fundición maleable[(6)] E[(7)] en 10^3 N/mm² : GG 78 a 143[(8)]; GGG 160 a 180; GTW y GTS 175 a 195									
Hierro de fundición con laminillas de grafito (fundición gris)	1691	GG-25	3,3 C; 2,0 Si; 0,8 Mn; < 0,3 P	250...350	–	–	120	30	Frágil, muy buen mecanizado por arranque de viruta
Hierro de fundición con grafito esférico	1693	GGG-40	3,6 C; 2,2 Si; 0,4 Mn; 0,05 Mg	≥ 400	≥ 250	≥ 15	200	25	Más dúctil que la fundición gris. Buen mecanizado por arranque de viruta
Fundición maleable f. maleable blanca f. maleable negra	1692	GTW-40-05 GTS-35-10	3,1 C; 0,6 Si; 0,4 Mn; 0,2 S 2,5 C; 1,3 Si; 0,4 Mn; 0,1 S	≥ 400 ≥ 350	≥ 220 ≥ 200	≥ 5 (A_3) ≥ 10 (A_3)	160 140	12 12	Ductilidad parecida a GGG, Buen mecanizado por arranque de viruta
Acero Fundido E[(7)] como acero	1681	GS-45	≤ 0,25 C; 0,6 Si	≥ 450	≥ 230	≥ 22	210	–	Bonificable
Acero E[(7)] en 10^3 N/mm²: aceros sin aleación o de baja aleación 212, aceros austeníticos ≥ 190, aceros para herramientas de altas aleaciones ≥ 230									
Acero de construcción sin tratamiento (Φ ≤ 40 mm)	17 100	St 37-2 St 60-2	≤ 0,17 C 0,40 C	340...510 570...770	≤ 225 ≤ 325	≥ 24 ≥ 14	≥ 170 ≥ 280	– –	Piezas para solicitaciones reducidas y mayores.
Bandas y chapas de aceros blandos no aleados	1623	St 14	≤ 0,08 C	270...350	≤ 210	≥ 38 (A_{80})		–	Piezas difíciles de embutición profunda
Banda y chapa cincada al fuego	17 162 T.1	St 05 Z	≤ 0,08 C	270...380	≤ 260	≥ 30 (A_{80})		–	Piezas difíciles de embutición profunda, expuestas a corrosión
Acero p. tornos automáticos	1651	9 SMn28 K 35 S 20 K	≤ 0,14 C; 1,1 Mn; 0,28 S 0,35 C; 0,7 Mn; 0,2 S	460...710 540...740	≥ 375 ≥ 315	≥ 8 ≥ 8	– –	– –	Acero blando y acero de bonificación para tornos automáticos

Acero (*Continuación*)

Material	DIN	Nombre abreviado selección de algunos tipos	Componentes principales de aleación, valor medio de la proporción de masa en %	R_m[1] N/mm²	R_e[2] N/mm²	A_5[3] %	σ_{bW}[4] Valor orientativo N/mm²	Probeta Φ[5] mm	Indicaciones
Acero de bonificación bonificado ($\Phi \leq$ 16mm)	17 200	Ck 45 34 Cr 4 42 CrMo 4 30 CrNiMo 8	0,45 C 0,34 C; 1,1 Cr 0,42 C; 1 Cr; 0,2 Mo 0,3 C; 2 Cr; 0,4 Mo; 2 Ni	700...850 900...1100 1100...1300 1250...1450	≥ 500 ≥ 700 ≥ 900 ≥ 1050	≥ 14 ≥ 11 ≥ 10 ≥ 9	≥ 280 ≥ 360 ≥ 440 ≥ 500	– – – –	↓ Posibilidad creciente de temple
				Dureza HV (orientativa)					
				superficie	núcleo				
Acero de cementación cementado y revenido ($\Phi \leq$ 11mm)	17 210	Ck 15 16 MnCr 5 15 CrNi 6 17 CrNiMo 6	0,15 C; 0,16 C; 1 Cr 0,15 C; 1,5 Cr; 1,5 Ni 0,17 C; 1,6 Cr; 1,5 Ni; 0,3 Mo	700 700 700 700	– 450 450 450	Los valores característicos de los materiales de los aceros endurecidos – templados y revenidos, cementados, nitrados, etc. - medidos en pruebas de tracción no son apropiados para un dimensionado de los componentes duros.			Alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la fatiga ↓ Posibilidad creciente de temple
Acero de nitruración bonificado y nitrado	17 211	31 CrMoV 9 34 CrAlMo 5	0,30 C; 2,5 Cr, 0,2 Mo; 0,15 V 0,35 C; 1 Al; 1,15 Cr; 0,2 Mo	700...850 850...1100	250...350 250...350				Alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la fatiga
Acero de rodamientos templado y revenido	17230	100 Cr 6	1 C; 1,5 Cr	Dureza ≥ 59 HRC					Alta resistencia al desgaste
Acero p. herramientas, acero sin aleación endurecido por deformación en frío	17 350	C 80 W 1	0,8 C	Dureza usual 60 a 63 HRC					Temple agua
Acero de aleación endurecido por deformación en frío, templado y revenido	17 350	115 CrV 3 90 MnCrV 8 × 155 CrVMo 121	1,15 C; 0,7 Cr; 0,1 V 0,9 C; 2 Mn; 0,1 V 1,55 C; 12 Cr; 1,0 V; 0,7 Mo	60...63 HRC 60...63 HRC 60...63 HRC					Temple agua-aceite, aceite. Muy alta resistencia al desgaste
Acero para trabajo en caliente, templado y revenido	17350	× 40 CrMoV 51	0,4 C; 5 Cr; 1 Mo; 1 V	43...45 HRC		Los valores característicos de los materiales de los aceros endurecidos – templados y revenidos, cementados, nitrados, etc. - medidos en pruebas de tracción no son apropiados para un dimensionado de los componentes duros.			
Acero rápido, templado y revenido	17 350	S-6-5-2	0,8 C; 6 W; 5 Mo; 2 V	61...65 HRC					resistente al desgaste en caliente
Acero inoxidable, acero ferrítico recocido	17 440	× 6 Cr 17	≤ 0,08 C; 17 Cr	450...600 Dureza < 185 HV	≥ 270	≥20			no templable
Acero martensítico, templado y revenido	17 440 17 440 (SEW-400)	× 20 CrNi 172 × 46 Cr 13 × 90 CrMoV 18	0,20 C; 17 Cr; 2 Ni 0,46 C; 13 Cr 0,9 C; 18 Cr; 1,1 Mo; 0,1 V	Dureza aprox. 49 HRC Dureza aprox. 50 HRC Dureza ≥ 57 HRC					resistencia creciente al desgaste
Acero austenítico de temple rápido	17 440	× 5 CrNi 18 10	≤ 0,07 C; 18 Cr; 9,5 Ni	500...700	≥ 195	≥ 45	–	–	no magnético, imposible de templar
Metales duros E = 440000 a 550000	–	–	W (Ti, Ta)-Karbid + Co	800...1900 HV			Materiales sinterizados, extremadamente resistentes a presión y al desgaste, pero frágiles; herramientas de arranque de viruta, de corte y de conformación		
Metales más pesados E = 320000 a 380000	–	–	> 90 W; Ni u. a.	≥ 650 240...450 HV	≥ 560	≥ 2	Densidad 17 a 18,5 g/cm³; pesas de reguladores, masas de inercia y de compensación		

(1) Resistencia a la tracción.
(2) Límite de alargamiento (o $R_{p0,2}$).
(3) Alargamiento de rotura.
(4) Resistencia a la flexión alternativa.
(5) Los valores indicados de resistencia son de probetas fundidas aparte.
(6) Las magnitudes de resistencia de todos los tipos de hierros de fundición dependen del peso y del espesor de pared de las piezas fundidas.
(7) Módulo de elasticidad.
(8) E en la fundición gris disminuye al aumentar la tracción y se mantiene casi constante a compresión.

Acero (*Continuación*)

Material	DIN	Principales componentes de la aleación, p.ej. proporción de masa en %; E y G en N/mm²	Diámetro mm	R_m[1] mín. N/mm²	Z[2] %	σ_b[3] N/mm²	τ_{kh}[4] N/mm²	τ_{zul}[5] N/mm²	Cualidades características Aplicaciones
Acero cuerda de piano patentado y de temple en el trefilado	17 223 Bl. 1	0,8 C; 0,6 Mn; < 0,35 Si E = 206 000 G = 81 500	1 3 10	2230 1840 1350	40 40 30	1590 1280 930	380[7] 360[7] 320	1115 920 675	Para altas tensiones primarias (pág. 280)
Alambre de muelle inoxidable	17 224	< 0,12 C; 17 Cr; 7,5 Ni E = 206 000 G = 73 000	1 3	2000 1600	40 40	1400 1130	– –	1000 800	Muelles resistentes al óxido
Alambre de acero bonificado de muelle de válvulas[6]	17 223 Bi. 2	0,65 C; 0,7 Mn; ≤ 0,30 Si E = 206 000 G = 80 000	1 3 8	1720 1480 1390	45 45 38	1200 1040 930	380[8] 380[8] 360[8]	860 740 690	Para grandes solicitaciones permanentes de oscilación
Alambre de acero de aleación bonificado de muelle de válvulas VD Si Cr[6]	–	0,55 C; 0,7 Mn; 0,65 Cr; 1,4 Si E = 200 000 G = 79 000	1 3 8	2060 1920 1720	50 50 40	– – –	430[8] 430[8] 380[8]	1030 960 860	Para máximas solicitaciones permanentes de oscilación y temperaturas altas
Alambre de acero de aleación bonificado de muelle de válvulas VD Cr V[6]	–	0,7 C; 0,7 Mn; 0,5 Cr; 0,15 V; ≤ 0,30 Si E = 200 000 G = 79 000	1 3 8	1860 1670 1420	45 45 40	– – –	470[8] 470[8] 400[8]	930 835 710	Para máximas solicitaciones permanentes de oscilación
Banda de acero de muelle Ck 85	17 222	0,85 C; 0,55 Mn; 0,25 Si E = 206 000	h ≤ 2,5	1470	–	1270	σ_{bt} = 640	–	Ballestas de altas prestaciones
Fleje de acero de muelle inoxidable	17 224	< 0,12 C; 17 Cr; 7,5 Ni E = 185 000	h ≤ 1	1370	–	1230	σ_{bt} = 590	–	Ballestas resistentes al óxido

(1) Resistencia a la tracción.
(2) Estricción de rotura.
(3) Tensión de doblado admitida.
(4) Tensión admitida de carrera para valores de holgura de carga N ≥ 10^7.
(5) Tensión primaria admitida para temperaturas hasta aprox. 30 °C y relajamiento de 1 a 2% en 10 h; para temperaturas mayores véase pág. 286.
(6) Gráficos demostrativos de las resistencias a la fatiga págs. 286 y 287.
(7) En muelles irradiados 480 N/mm².
(8) En muelles irradiados aprox. 40% mayor.

Chapa para carrocería

Nombre abreviado del material	Gruesos corrientes del material en mm	$R_{p0,2}$[1]	R_m[2]	A_{80}[3]	Propiedades Ejemplos de utilización
St 12	0,6…2,5	≈ 280	270…410	≈ 28	Para piezas de embutición fácil
St 13		≈ 250	270…370	≈ 32	Para piezas de embutición difícil
St 14		≈ 240	270…350	≈ 38	Para piezas de embutición muy difícil (piezas exteriores, techo, puertas, guardabarros, etc.; 0,75…1,0 mm). Ver también DIN 1623
ZE 260	0,75…2,0	260…340	≈ 370	≈ 28	Para piezas portantes altam. solicitadas, cuyo grado de conformación no es muy difícil
ZE 340		340…420	≈ 420	≈ 24	
ZE 420		420…500	≈ 490	≈ 20	
AlMg 0,4 Si 1,2	0,8…2,5	≈ 140	≈ 250	≈ 28	Para piezas ext. como guardabarros delant., puertas, capota del motor y del portamaletas y otros, casi siempre de 1,25 mm. Ver DIN 1745
AlMg 4,5 Mn 0,3	0,5…3,5	≈ 130	≈ 270	≈ 28	Para refuerzo int. de tapas abatibles, p. piezas que no están a la vista; se toleran marcas de embutición

(1) Límite elástico.
(2) Resistencia a la tracción.
(3) Alargamiento de rotura.

Metales no férreos

Material	DIN	Nombre abreviado	Composición Valores medios % en peso	E[1] N/mm²	R_m[2] mínimo N/mm²	$R_{p0,2}$[3] mínimo N/mm²	σ_{bW}[4] mínimo N/mm²	Propiedades Ejemplos de utilización
Metales pesados								
Cobre para líneas eléctricas	1787	E-Cu 57 F 20	99,90 Cu	128 · 10³	200	120[5]	70	Muy flexible, muy buena conductibilidad eléctrica
Latón	17 660	CuZn 28 F 35	72 Cu; 28 Zn	114 · 10³	350	200	120	Puede sufrir embutición prof.
		CuZn 37 F 44	63 Cu; 37 Zn	110 · 10³	440	370	140	Buena conformación en frío
		CuZn 39 Pb 3 F 43	58 Cu; 39 Zn; 3 Pb	96 · 10³	430	250	150	Piez. mecan. en tornos autom.
Plata alemana (alpaca)	17 663	CuNi 12 Zn 24 F 43	64,5 Cu; 23,5 Zn; 12 Ni	125 · 10³	430	230	–	Resist. a la corrosión
Bronces al estaño	17 662	CuSn 6 F 41	94 Cu; 6 Sn	118 · 10³	410	300	175	Buenas propiedades antifric. Casquillos de cojinetes, muelles
Bronce al estaño mold.	1705	G-CuSn 12	86 Cu; 12 Sn	100 · 10³	260[6]	140[6]	90	Resist. a la corrosión; resist. al desgaste; ruedas dentadas
Latón rojo	1705	GC-CuSn 7 ZnPb	85 Cu; 7 Sn; 4 Zn; 6 Pb	85 · 10³	270	270	80	Resistentes a la corrosión
Plomo metalúrgico	1719		99,9 Pb	17 · 10³	10	–	2	Blando, resist. a los ácidos Juntas
Plomo duro	17641	PbSb 5	94 Pb; 6 Sb		30	–	–	Resist. a los ácidos; grifería placas de baterías
Plomo fund. a presión	1741	GD-Pb 87 Sb	87 Pb; 13 Sb		60	–	–	Contrapesos y masas centrífugas
Aleac. de estaño	4381	SnSb 12 Cu 6 Pb	80 Sn; 12 Sb; 6 Cu; 2 Pb	30 · 10³	–	60[7]	28	Cojinetes de fricción
Cinc. fund. a presión	1743	GD-ZnAl 4 Cu 1	96 Zn; 4 Al	130 · 10³	280[6]	200[6]	80	Piez. fund. con exact. med.
Aleac. p. resist. calefactoras	17470	NiCr 8020	80 Ni; 20 Cr	–	650	–	–	Elevada resist. eléctrica (página 211)
		NiCr 6015	60 Ni; 22 Fe; 17 Cr	–	600	–	–	
Aleaciones para resistencias	17 471	CuNi 44	55 Cu; 44 Ni; 1 Mn	–	420	–	–	
		CuNi 30 Mn	67 Cu; 30 Ni; 3 Mn	–	420	–	–	
		CuMn 12 NiAl	82 Cu; 12 Mn; 5 Ni; 1 Al	–	420	–	–	

[1] Módulo de elasticidad, valor orientativo; [2] Resistencia a la tracción; [3] Límite de elasticidad al 0,2 %. [4] Resistencia a la flexión alternativa; [5] La más alta; [6] En probeta fundida aparte; [7] Aprox.

Metales ligeros

Material	Composición, valores medios en tanto % en peso	R_m[1] mínimo N/mm²	$R_{p0,2}$[2] mínimo N/mm²	σ_{bW}[3] aprox. N/mm²	Propiedades Ejemplos de utilización
Aleaciones de aluminio maleables (DIN 1712, 1725, 1745...40501), módulo de elasticidad E = 65000 a 73000 N/mm²					
Al 99,5 W 7	99,5 Al	65	54[4]	40	Blanda,m. buena conductora, anodizable, pulible
AlMg 2 Mn 0,8 W 19	97 Al; 2 Mg; 0,8 Mn	190	80	90	Resist. al agua de mar, anodizable
AlMgSi 1 F 28	97 Al; 0,9 Mg; 1 Si; 0,7 Mn	275	200	90	Endurecida en caliente, resist. al agua de mar
AlCuMg 1 F 40	94 Al; 4 Cu; 0,7 Mg; 0,7 Mn; 0,5 Si	395	265	120	Endurecida en frío, b. comportamiento a la fatiga
AlZnMgCu 1,5 F 53	90 Al; 6 Zn; 2 Mg; 2 Cu; 0,2 Cr	530	450	140	Máximo de resistencia
Aleaciones de aluminio moldeado[5] (DIN 1725, hoja 2), módulo de elasticidad E = 68000 a 75000 N/mm²					
GK-AlSi 12	88 Al; 12 Si; 0,2 Mn	180	80	70	Piezas delgadas, resist. a las vibraciones
GK-AlMg 5 Si	94 Al; 5 Mg; 1 Si; 0,2 Mn; 0,1 Ti	180	110	70	Resist. al agua de mar; anodizable, pulible
GK-AlSi 10 Mg wa	89 Al; 10 Si; 0,4 Mg; 0,2 Mn	240	210	80	Endur. en cal.; piezas altam. solicitadas, resist. a vibraciones
GK-AlSi 6 Cu 4	89 Al; 6 Si; 4 Cu; 0,3 Mn; 0,3 Mg	180	120	60	Piezas altam. solicitadas endurecidas en caliente
GK-AlCu 4 Ti wa	95 Al; 5 Cu; 0,2 Ti	330	220	90	Endurecidad en caliente; piezas sencillas con elevadas solicitaciones de resist. y tenacidad
GD-AlSi 9 Cu 3	87 Al; 9 Si; 3 Cu; 0,3 Mn; 0,3 Mg	240	140	70[6]	Resist. en caliente; piezas fund. a pres. formas complicadas
GD-AlMg 9	90 Al; 9 Mg; 1 Si; 0,4 Mn	200	140	60[6]	Resist. al agua de mar, piezas medianam. solicitadas
Aleaciones de magnesio (DIN 1729, 9715), módulo de elasticidad $E \approx$ 45000 N/mm²					
MgAl 6 Zn F 27	93 Mg; 6 Al; 1 Zn; 0,3 Mn	270	195	–	Piezas median. a altam. solicitadas (Virutas inflamables)
GK-MgAl 9 Zn 1 wa	90 Mg; 9 Al; 0,6 Zn; 0,2 Mn	240	150	80	Endurec. en caliente (Virutas inflamables)
GD-MgAl 9 Zn 1	90 Mg; 9 Al; 0,6 Zn; 0,2 Mn	200	150	50	Piezas fundidas a presión de formas complicadas (Virutas inflamables)
Aleaciones de titanio (DIN 17 850, 17 851, 17860...17 864), módulo de elasticidad $E \approx$ 110000 N/mm²					
Ti 1	99,7 Ti	290	180	–	Resistentes a la corrosión
TiAl 6 V 4 F 89	90 Ti; 6 Al; 4 V	890	820	–	Resistentes a la corrosión, máxima exigencia de resistencia

[1] Resistencia a la tracción; [2] Límite elástico al 0,2%; [3] Resistencia a la fatiga por flexión alternativa rotatoria; [4] Máximo; [5] Los valores de resistencia son válidos para la fundición en coquilla y a presión, para probetas fundidas aparte. La fundición moldeada con arena tiene valores algo inferiores a la fundición en coquilla; [6] Resistencia a la flexión alternativa plana.

Metales sinterizados[1] para cojinetes de fricción

Material	Signo abreviado Sint-	Densidad ρ g/cm³	Porosidad $\Delta V/V$ %	Composición química proporción de masa en %	Resist. radial a la rotura K[2] N/mm²	Dureza HB	Densidad ρ g/cm³	Composición química proporción de masa en %	Resist. radial a la rotura K[2] N/mm²	Límite aplastamiento $\delta_{d0,2}$ N/mm²	Dureza HB[2]	Conductividad térmica λ W/mK
	Intervalos admitidos						Ejemplos representativos					
Hierro sinterizado	A 00 B 00 C 00	5,6...6,0 6,0...6,4 6,4...6,8	25 ± 2,5 20 ± 2,5 15 ± 2,5	< 0,3 C; < 1,0 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 150 >180 > 220	> 25 > 30 > 40	5,9 6,3 6,7	< 0,2 otros; resto es Fe	160 190 230	130 160 180	30 40 50	37 43 48
Acero sinterizado con contenido de Cu	A 10 B 10 C 10	5,6...6,0 6,0...6,4 6,4...6,8	25 ± 2,5 20 ± 2,5 15 ± 2,5	< 0,3 C; 1...5 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 160 > 190 > 230	> 35 > 40 > 55	5,9 6,3 6,7	2,0 Cu < 0,2 otros; resto es Fe	170 200 240	150 170 200	40 50 65	36 37 42
Acero sinterizado con cont. de Cu y C	B 11	6,0...6,4	20 ± 2,5	0,4...1,0 C; 1...5 Cu < 2 otros; resto es Fe	> 270	> 70	6,3	0,6 C; 2,0 Cu; < 2 otros; resto es Fe	280	160	80	28
Acero sinterizado con mayor contenido de Cu	A 20 B 20	5,8...6,2 6,2...6,6	25 ± 2,5 20 ± 2,5	< 0,3 C; 15...25 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 180 > 200	> 30 > 45	6,0 6,4	20 Cu; < 0,2 otros; resto es Fe	200 220	140 160	40 50	41 47
Acero sinterizado con mayor cont. de Cu y C	A 22 B 22	5,5...6,0 6,0...6,5	25 ± 2,5 20 ± 2,5	0,5...2,0 C; 15...25 Cu < 2 otros; resto es Fe	> 120 > 140	> 20 > 25	5,7 6,1	2,0 C[3]; 20 Cu < 2 otros; resto es Fe	125 145	100 120	25 30	30 37
Bronce sinterizado	A 50 B 50 C 50	6,4...6,8 6,8...7,2 7,2...7,7	25 ± 2,5 20 ± 2,5 15 ± 2,5	< 0,2 C; 9...11 Sn; < 2 otros; resto es Cu	> 120 > 170 > 200	> 25 > 30 > 35	6,6 7,0 7,4	10 Sn < 2 otros; resto es Cu	140 180 210	100 130 160	30 35 45	27 32 37
Bronce sinterizado con cont. de grafito[4]	A 51 B 51 C 51	6,0...6,5 6,5...7,0 7,0...7,5	25 ± 2,5 20 ± 2,5 15 ± 2,5	0,5...2,0 C; 9... 11 Sn; < 2 otros; resto es Cu	> 100 > 150 > 170	> 20 > 25 > 30	6,3 6,7 7,1	1,5 C[4]; 10 Sn; < 2 otros; resto es Cu	120 155 175	80 100 120	20 30 35	20 26 32

(1) Según "Hojas de prestaciones de metales sinterizados": DIN 30910, edición 1990.
(2) Medido en cojinetes calibrados 10/16 ⌀ · 10.
(3) C se presenta preferentemente como grafito libre.
(4) C se presenta como grafito libre.

Materiales sinterizados[1] para piezas moldeadas

Material	Signo abreviado Sint-	Densidad ρ g/cm³	Porosidad $\Delta V/V$ %	Composición química proporción de masa en %	Dureza HB	Densidad ρ g/cm³	Composición química proporción de masa en %	Resistencia a la rotura R_m N/mm²	Límite de alargamiento $R_{p0,1}$ N/mm²	Alargamiento de rotura A %	Dureza HB	Módulo E $E \cdot 10^3$ N/mm²
	Rangos admitidos					Ejemplos representativos						
Hierro sinterizado	C 00 D 00 E 00	6,4...6,8 6,8...7,2 > 7,2	15± 2,5 10 ± 2,5 < 7,5	< 0,3 C; < 1,0 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 35 > 45 > 60	6,6 6,9 7,3	< 0,5 otros; resto es Fe	130 190 260	60 90 130	4 10 18	40 50 65	100 130 160
Acero sinterizado con contenido de C	C 01 D 01	6,4...6,8 6,8...7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5	0,3...0,6 C; < 1,0 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 70 > 90	6,6 6,9	0,5 C; < 0,5 otros; resto es Fe	260 320	180 210	3 3	80 100	100 130
Acero sinterizado con contenido de Cu	C 10 D 10 E 10	6,4...6,8 6,8...7,2 > 7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5 < 7,5	< 0,3 C; 1... 5 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 40 > 50 > 80	6,6 6,9 7,3	1,5 Cu; < 0,5 otros; resto es Fe	230 300 400	160 210 290	3 6 12	55 85 120	100 130 160
Acero sinterizado con contenido de Cu y C	C 11 D 11	6,4...6,8 6,8...7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5	0,4...1,5 C; 1...5 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 80 > 95	6,6 6,9	0,6 C; 1,5 Cu; < 0,5 otros; resto es Fe	460 570	320 400	2 2	125 150	100 130
	C 21	6,4...6,8	15 ± 2,5	0,4...1,5 C; 5...10 Cu; < 2 otros; resto es Fe	> 105	6,6	0,8 C; 6 Cu; < 0,5 otros; resto es Fe	530	410	< 1	150	100
Acero sinterizado con contenido de Cu, Ni y Mo	C 30 D 30 E 30	6,4...6,8 6,8...7,2 > 7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5 < 7,5	< 0,3 C; 1... 5 Cu; 1...5 Ni; < 0,8 Mo; < 2 otros; resto es Fe	> 55 > 60 > 90	6,6 6,9 7,3	0,3 C; 1,5 Cu; 4,0 Ni, 0,5 Mo; < 0,5 otros; resto es Fe	390 510 680	310 370 440	2 3 5	105 130 170	100 130 160
Acero sinterizado con contenido de P	C 35 D 35	6,4...6,8 6,8...7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5	< 0,3 C; < 1,0 Cu; 0,3...0,6 P; < 2 otros; resto es Fe	> 70 > 80	6,6 6,9	0,45 P; < 0,5 otros; resto es Fe	310 330	200 230	11 12	85 90	100 130
Acero sinterizado con contenido de Cu y P	C 36 D 36	6,4...6,8 6,8...7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5	< 0,3 C; 1...5 Cu; 0,3...0,6 P; < 2 otros; resto es Fe	> 80 > 90	6,6 6,9	2,0 Cu; 0,45 P; < 0,5 otros; resto es Fe	360 380	290 320	5 6	100 105	100 130
Acero sinterizado con contenido de Cu, Ni, Mo y C	C 39 D 39	6,4...6,8 6,8...7,2	15 ± 2,5 10 ± 2,5	0,3...0,6 C; 1...3 Cu; 1...5 Ni; < 0,8 Mo < 2 otros; resto es Fe	> 90 > 120	6,6 6,9	0,5 C; 1,5 Cu; 4,0 Ni; 0,5 Mo; < 0,5 otros; resto es Fe	520 600	370 420	1 2	150 180	100 130
Bronce sinterizado	C50 D50	7,2...7,7 7,7...8,1	15 ± 2,5 10 ± 2,5	9...11 Sn < 2 otros; resto es Cu	> 35 > 45	7,4 7,9	10 Sn; < 0,5 otros; resto es Cu	150 220	90 120	4 6	40 55	50 70

(1) Según "Hojas de prestaciones de materiales de metales sinterizados": DIN 30910, Edición 1990.

Materiales metálicos magnéticamente blandos

Tipo de imán	Componentes de la aleación proporciones de masas %	Cualidades magnéticas estáticas: Intensidad de campo coercitivo $H_{c(max)}$ en A/m espesor en mm		Polarización magnética mínima en Telsa (T) a intensidad de campo H en A/m						Medición corriente alterna[1], 50 Hz: Punto de medición $\hat{H}$ en A/m	Permeabilidad mínima μ_r/1000 espesor chapa en mm	
		0,4...1,5	> 1,5	20	50	100	300	500	4000		0,30...0,38	0,15...0,20
E11-60	72...83 Ni	2	4	0,50	0,65	0,70		0,73	0,75	0,40	40,00	40,00
E21	54...68 Ni	no apropiado para este espesor									Según acuerdo	
E31-06	45...50 Ni	10	0,50	0,90	1,10		1,35	1,45	4,00	6,00	6,00	
E32	45...50 Ni	no apropiado para este espesor									Según acuerdo	
E41-03	35...40 Ni	24	24	0,20	0,45	0,70		1,00	1,18	1,60	2,90	2,90
C1 - 48	0...5 Si (típic. 2...4,5)	48	48			0,60	1,10	1,20	1,50			
C1 - 12	0...5 Si (típic. 2...4,5)	12	12			1,20	1,30	1,35	1,50			
C21 - 0,9	0,4...5 Si (típic. 2...4,5)									1,60	0,90	0,75
C22 - 13	0,4...5 Si (típic. 2...4,5)									1,60	1,30	–
A-240	100 Fe	240	240				1,15	1,30	1,60	No apropiado para aplicaciones en corriente alterna		
A-120	100 Fe	120	120				1,15	1,30	1,60			
A-60	100 Fe	60	60				1,25	1,35	1,60			
A-12	100 Fe	12	12			1,15	1,30	1,40	1,60			

(1) Las indicaciones valen para anillos laminados.

Materiales metálicos magnéticamente blandos

Chapa y banda eléctricas

Tipo de chapa: Nombre abreviado	Número de material	Espesor nominal mm	Densidad ρ g/cm³	Pérdida máx. de transformación magnética (50Hz) en W/kg al excitarse: P 1,0	P 1,5	P 1,7	Polarización magnética mínima en Telsa (T) a intensidad de campo H en A/m: (B25) 2500	(B50) 5000	(B100) 10000	Intensidad estática del campo coercitivo H_C en A/m	Permeabilidad μ max	Cualidades características aplicaciones
M 270-35A	1.0801	0,35	7,60	1,10	2,70	–	1,49	1,60	1,70	≈ 100 ...300	≈ 5000	Pérdidas por transf. de magnetización Construcción de circuitos magnéticos en magnetización alternativa (p. ej. motores)
M 330-35A	1.0804	0,35	7,65	1,30	3,30	–	1,49	1,60	1,70			
M 330-50A	1.0809	0,50	7,60	1,35	3,30	–	1,49	1,60	1,70			
M 530-50A	1.0813	0,50	7,70	2,30	5,30	–	1,54	1,64	1,74			
M 800-50A	1.0816	0,50	7,80	3,60	8,00	–	1,60	1,70	1,78			
M 400-65A	1.0821	0,65	7,65	1,70	4,00	–	1,52	1,62	1,72			
M1000-65A	1.0828	0,65	7,80	4,40	10,0	–	1,61	1,71	1,80			
M 660-50D	1.0361	0,50	7,85	2,80	6,60	–	1,62	1,70	1,79			
M1050-50D	1.0363	0,50	7,85	4,30	10,50	–	1,57	1,65	1,77			
M 800-65D	1.0364	0,65	7,85	3,30	8,00	–	1,62	1,70	1,79			
M1200-65D	1.0366	0,65	7,85	5,00	12,00	–	1,57	1,65	1,77			
							a intensidad de campo H 800 A/m (B8)					
M 097-30N	1.0861	0,30	–	–	0,97	1,50	1,75			≈ 1	≈ 30000	
M 140-30S	1.0862	0,30	–	–	0,92	1,40	1,78					
M 111-30P	1.0881	0,30	–	–	–	1,11	1,85					
M 340-50E	1.0841	0,50	7,65	1,42	3,40	–	1,54	1,62	1,72	≈ 100 ...300	≈ 5000	
M 560-50E	1.0844	0,50	7,80	2,42	5,60	–	1,58	1,66	1,76			
M 390-65E	1.0846	0,65	7,65	1,62	3,90	–	1,54	1,62	1,72			
M 640-65E	1.0849	0,65	7,80	2,72	6,30	–	1,58	1,66	1,76			

Materiales para transmisores

Tipo de material: Nombre abreviado	Tipo de material: Núm. de material	Composición química	Espesor mm	Densidad g/cm³	Resistencia eléctr. específica[1] Ω · mm²/m	Intens. campo coercitivo[1] A/m	Polarización de saturación[1] T (Telsa)	Temp. de Curie[1] °C	Permeabilidad del material[1] μ_{16}	Permeabilidad del material[1] μ_4	Pérdidas magnetismo a 50 Hz W/kg	Propiedades características. Utilización
A 0	1.3850	Acero con ≈ 2,5...4,5% Si	0,5 0,35	7,7	0,40	100	2,03	750	450	–	–	Permeabilidad a intensidades de campo pequeñas
A 2	1.3852	Acero con ≈ 2,5...4,5% Si	0,35	7,63	0,55	60	2,0	750	900	–	–	
A 3	1.3853	Acero con ≈ 2,5...4,5% Si	0,35 0,20	7,57	0,68	35	1,92	750	900 750	– –	–	
C 2	1.3856	Acero con ≈ 3,5...4,5% Si	0,35	7,55	0,5	30	2,0	750	1300	–	P 1,5 ≈ 1	
C 5	1.3859	Acero con ≈ 3,5...4,5% Si	0,35	7,65	0,45	15	2,0	750	Dependiente de la dirección de laminación		P 1,5 ≈ 1	Fabricación de transmisores en telecomunicación
D 1a	1.3915	Acero con ≈ 36...40% Ni	0,35 0,05	8,15	0,75	50	1,3	250	2400 2300	– –	P 1,0: ≈ 0,5...1	
			0,35 0,1						2200	–		
D 3	1.3916	Acero con ≈ 36...40% Ni	0,35 0,05	8,15	0,75	15	1,3	250	2900 2500	– –	P 1,0: ≈ 0,5...1	
E 3	2.4591	Aleaciones de FeNi con ≈ 75% Ni, y otras adiciones	0,35 0,05	8,6	0,5	2	0,7–0,8	400	– –	20000 16000	P 0,5: ≈ 0,03	
E 4	2.4592	Aleaciones de FeNi con ≈ 75% Ni, y otras adiciones	0,35 0,05	8,7	0,55	1	0,6–0,8	270 400	– –	35000 30000	P 0,5: ≈ 0,03	
F 3	1.3922	Aleac. de NiFe con ≈ 50% Ni	0,35 0,05	8,25	0,45	10	1,5	470	–	4000	P 1,0 ≈ 0,3	

[1] Valores orientativos.

Materiales para relés de corriente continua

Tipo de material: Nombre abreviado	Tipo de material: Núm. de material	Componentes de la aleación: Proporción en peso %	Densidad[1] g/cm³	Dureza[1] HV	Imanación residual[1] T (Tesla)	Permeabilidad[1] μ_{max}	Resist. eléctrica espec.[1] $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$	Intens. campo coercitivo A/m max.	Polarización magnética T(Telsa) min p. intensidad campo H en A/m: 20	50	100	200	300	500	1000	4000	Propiedades características. Utilización
Aceros no aleados																	
RFe 160	1.1011	–	7,85	max 150	–	–	0,15	160	–	–	–	–	1,15	1,30	–	1,60	Intensidad de campo magnético coercitivo pequeño. Relé de corriente continua y fines similares
RFe 80	1.1014	–	7,85	max 150	1,10	–	0,15	80	–	–	–	1,10	1,20	1,30	1,45	1,60	
RFe 60	1.1015	–	7,85	max 150	1,20	–	0,12	60	–	–	–	1,15	1,25	1,35	1,45	1,60	
RFe 20	1.1017	–	7,85	max 150	1,20	≈ 20000	0,10	20	–	–	1,15	1,25	1,30	1,40	1,45	1,60	
RFe 12	1.1018	–	7,85	max 150	1,20	≈ 20000	0,10	12	–	–	1,15	1,25	1,30	1,40	1,45	1,60	
Aceros al silicio																	
RSi 48	1.3840	2,5	7,55	130	0,50	–	0,42	48	–	–	0,60	–	1,10	1,20	–	1,50	
RSi 24	1.3843	–	–	–	1,00	≈ 20000	–	24	–	–	1,20	–	1,30	1,35	–	1,50	
RSi 12	1.3845	4 Si	7,75	200	1,00	≈ 10000	0,60	12	–	–	1,20	–	1,30	1,35	–	1,50	
Aceros al níquel y aleaciones																	
RNi 24	1.3911	≈ 36 Ni	8,2	130...180	0,45	≈ 5000	0,75	24	0,20	0,45	0,70	–	0,90	1,00	–	1,18	
RNi 12	1.3926	≈ 50 Ni	8,3	130...180	0,60	≈ 30000	0,45	12	0,50	0,90	1,10	–	1,25	1,35	–	1,45	
RNi 8	1.3927	≈ 50 Ni	8,3	130...180	0,60	30000...100000	0,45	8	0,50	0,90	1,10	–	1,25	1,35	–	1,45	
RNi 5	2.4596	70...80 Ni peq. cantid. de Cu, Cr, Mo	8,7	120...170	0,30	≈ 40000	0,55	5	0,50	0,65	0,70	–	–	–	–	0,75	
RNi 2	2.4595	70...80 Ni peq. cantid. de Cu, Cr, Mo	8,7	120...170	0,30	≈ 100000	0,55	2	0,50	0,65	0,70	–	–	–	–	0,75	

[1] Valores orientativos.

Metales sinterizados para componentes magnéticamente blandos

Material Nombre abreviado	Elementos característicos de la aleación (excepto hierro) proporciones de masas en %	Densidad de sinterizado ρ_s g/cm³	Porosidad p_s %	Intensidad máxima de campo coercitivo $H_{c(max)}$ en A/m	Polarización magnética en Tesla (T) a intensidad de campo H en A/m: 500	5000	15000	80000	Permeabilidad máxima μ_{max}	Dureza Vickers HV5	Resistencia eléctrica específica ρ $\mu\Omega$m
S-Fe-175	–	6,6	16	175	0,70	1,10	1,40	1,55	2000	50	0,15
S-Fe-170	–	7,0	11	170	0,90	1,25	1,45	1,65	2600	60	0,13
S-Fe-165	–	7,2	9	165	1,10	1,40	1,55	1,75	3000	70	0,12
S-FeP-150	≈ 0,45 P	7,0	10	150	1,05	1,30	1,50	1,65	3400	95	0,20
S-FeP-130	≈ 0,45 P	7,2	8	130	1,20	1,45	1,60	1,75	4000	105	0,19
S-FeSi-80	≈ 3 Si	7,3	4	80	1,35	1,55	1,70	1,85	8000	170	0,45
S-FeSi-50	≈ 3 Si	7,5	2	50	1,40	1,65	1,70	1,95	9500	180	0,45
S-FeNi-20	≈ 50 Ni	7,7	7	20	1,10	1,25	1,30	1,30	20000	70	0,50
S-FeNi-15	≈ 50 Ni	8,0	4	15	1,30	1,50	1,55	1,55	30000	85	0,45
S-FeCo-100	≈ 50 Co	7,8	3	100	1,50	2,00	2,10	2,15	2000	190	0,10
S-FeCo-200	≈ 50 Co	7,8	3	200	1,55	2,05	2,15	2,20	3900	240	0,35

Ferritas magnéticamente blandas

Clase de ferrita	Permeabilidad inicial μ_i ± 25%	Factor de pérdidas relativo tan δ/μ_i[2] 10^{-6}	MHz	Potencia de pérdidas relativa[3] mW/g	Permeabilidad de amplitudes[4] μ_a	Temper. de Curie[5][6] Θ_c °C	Frecuencia para $0{,}8 \cdot \mu_i$[6] MHz	Propiedades características. Utilización
Materiales en circuitos magnéticos corrientemente abiertos								
C 1/12	12	350	100	–	–	> 500	400	Permeabilidad inical. En comparac. con los materiales magnéticos metálicos, resistencia específica más elevada (10^0 a 15^5 Ω · m, los metales 10^{-7} a 10^{-6} Ω · m) y por ello menos pérdidas por corrientes de Foucault. Telecomunicación (bobinas, transmisores)
D 1/50	50	120	10	–	–	> 400	90	
F 1/250	250	100	3	–	–	> 250	22	
G 2/600	600	40	1	–	–	> 170	6	
H 1/1200	1200	20	0,3	–	–	> 150	2	
Materiales en circuitos magnéticos corrientemente cerrados								
E 2	60...160	80	10	–	–	> 400	50	
G 3	400...1200	25	1	–	–	> 180	6	
J 4	1600...2500	5	0,1	–	–	> 150	1,5	
M 1	3000...5000	5	0,03	–	–	> 125	0,4	
P 1	5000...7000	3	0,01	–	–	> 125	0,3	
Materiales para aplicaciones de potencia								
W 1	1000...3000	–	–	45	1200	> 180	–	
W 2	1000...3000	–	–	25	1500	> 180	–	

(1) Valores nominales.
(2) tan δ/μ_i denota las pérdidas del material dependientes de la frecuencia a bajas densidades de flujo (B < 0,1 mT).
(3) Pérdidas a grandes densidades de flujo. Las mediciones de preferencia a: f = 25 kHz; B = 200 mT; Θ = 100°C.
(4) Permeabilidad para una regulación más fuerte de forma sinusoidal. Medición a: f ≤ 25 kHz, $\hat{B}$ = 320 mT, Θ = 100°C.
(5) En este caso la temperatura de Curie Θ_c es aquella a la cual la permeabilidad inicial μ_i desciende por debajo del 10% de su valor a 25°C.
(6) Valores orientativos.

Materiales para imanes permanentes

Material: Nombre abreviado	Núm. de material DIN	Núm. de material IEC	Composición química(1) % en peso: Al	Co	Cu	Nb	Ni	Ti	Fe	Densidad ρ[1] g/cm³	$(BH)_{max}$[2] kJ/m³	Imanac. resid. B_r[2] mT	Intens. campo coercitivo[2] de la dens. flujo $_BH_c$ kA/m	Intens. campo coercitivo[2] de la polarizac. $_JH_c$ kA/m	Permeabilidad perman. relativa[1] μ_p	Temp. Curie[1] T_c K	Coef. temp. polarizac. $TK(J_s)$[1][3] % K	Coef. temp. campo coerc. $TK(J_s)$[1][3] % K	Producción elaboración utilización
Imanes metálicos																			
Isotrópicos																			
AlNiCo 9/5	1.3728	R 1-03	11...13	0...5	2...4	–	21...28	0...1	Rest	6,8	9,0	550	44	47	4,0...5,0	1030		+0,03	Producción: Colada o sinterización. En el caso de imanes con aglomerante, por prensado o inyección. Mecanizado: rectificado. Utilización: máx. 400...500°C
AlNiCo 18/9	1.3756	–	6...8	24...34	3...6	–	13...19	5...9		7,2	18,0	600	80	86	3,0...4,0	...	–0,02	...	
AlNiCo 7/8 p	1.3715	R 1-2-3	6...8	24...34	3...6	–	13...19	5...9		5,5	7,0	340	72	84	2,0...3,0	1180		–0,07	
Anisotrópicos																			
AlNiCo 35/5	1.3761	–	8...9	23...26	3...4	0...1	13...16	–		7,2	35,0	1120	47	48	3,0...4,5				
AlNiCo 44/5	1.3757	R 1-1-2	8...9	23...26	3...4	0...1	13...16	–		7,2	44,0	1200	52	53	2,5...4,0	1030		±0,03	
AlNiCo 52/6	1.3759	–	8...9	23...26	3...4	0...1	13...16	–	Rest	7,2	52,0	1250	55	56	1,5...3,0	...	–0,02	...	
AlNiCo 60/11	1.3763	R 1-1-6	6...8	35...39	2...4	0...1	13...15	4...6		7,2	60,0	900	110	112	1,5...2,5	1180		–0,07	
AlNiCo 30/14	1.3765	–	6...8	38...42	2...4	0...1	13...15	7...9		7,2	30,0	680	136	144	1,5...2,5				
			V	Co	Cr	Fe													
FeCoVCr 11/2	2.4570	R 3-1-3	8...15	51...54	0...4	Rest				–	11,0	800	24	24	2,0...8,0	100	–0,01	≈ 0	
FeCoVCr 4/1	2.4571	–	3...15	51...54	0...6					–	4,0	1000	5	5	9,0...25,0				
RECi 80/80	–	R 5-1-1								8,1	80	650	500	800	1,05	1000	–0,05	–0,3	
RECo 120/96	–	R 5-1-2								8,1	120	770	590	960					
RECo 160/80	–	R 5-1-3								8,1	160	900	640	800					
RECo 48/60p	–	R 5-3-1								5,2	48	500	360	600					
CrFeCo12/4	–	R 6-0-1								7,6	12	800	40	42	5,5...6,5	1125	–0,03	–0,04	
CrFeCo28/5	–	R 6-1-1								7,6	28	1000	45	46	3...4	1125	–0,03	–0,04	
REFe 165/170	–	R 7-1-1								7,4	165	940	700	1700	1,07	583	–0,1	–0,8	
REFe 220/140	–	R 7-1-6								7,4	220	1090	800	1400	1,05	583	–0,1	–0,8	
REFe 260/80	–	R 7-1-8								7,4	260	1180	750	800	1,05	583	–0,1	–0,8	

[1] Valores orientativos. [2] Valores mínimos. [3] En la zona de 273...373 K.

Materiales para imanes permanentes (*Continuación*)

Material: Nombre abreviado	Núm. de material DIN	Núm. de material IEC	Densidad[1] ρ g/cm³	$(BH)_{max}$[2] kJ/m³	Imanac. reman.[2] B_r mT	Intens. campo coercitivo[2] de la dens. flujo $_BH_c$ kA/m	Intens. campo coercitivo[2] de la polarizac. $_JH_c$ kA/m	Permeabilidad per-man. relat.[1] μ_p	Temp. Curie[1] T_c K	Coef. temp. polarizac.[1] $TK(J_s)$ %K	Coef. temp. campo coerc.[1] $TK(H_c)$ %K	Producción Elaboración
Imanes cerámicos												
Isotrópicos												
Ferrita dura 7/21	1.3641	S 1-0-1	4,9	6,5	190	125	210	1,2	723	–0,2	0,2...0,5	
Ferrita dura 3/18p	1.3614	S 1-2-2	3,9	3,2	135	85	175	1,1				
Anisotrópicos												Producción: Sinterización. Los imanes con aglomerantes sintéticos se fabrican por prensado, inyección, laminación o extrusión. Mecanizado: rectificado
Ferrita dura 20/19	1.3643	S 1-1-1	4,8	20,0	320	170	190	1,1				
Ferrita dura 20/28	1.3645	S 1-1-2	4,6	20,2	320	220	280	1,1				
Ferrita dura 24/23	1.3647	S 1-1-3	4,8	24,0	350	215	230	1,1	723	–0,2	0,2...0,5	
Ferrita dura 25/25	1.3651	S 1-1-5	4,8	25,0	370	230	250	1,1				
Ferrita dura 9/19p	1.3616	S 1-3-1	3,4	9,0	220	145	190	1,1				
Ferrita dura 10/22p	–	S 1-3-2	3,5	10,0	230	165	225	1,1				
Calidades Bosch (no normalizadas)												
RBX HC 375				23	350	260	360					
RBX 370				25	360	240	260					
RBX 380K				27	380	280	300					
RBX 380			4,7...4,9	27	380	255	260					
RBX 400				32	400	250	260					
RBX 410K				32	405	290	300					
RBX 420				35	420	255	260					
RBX HC 410				30	395	290	340					

[1] Valores orientativos.
[2] Valores mínimos

Soldadura

Tipo de material de soldadura	Nombre abreviado	Princ. componentes de aleación, valores medios % en peso	Zona de fusión de la soldad. °C	Temp. mínima de la pieza a soldar °C	Propiedades Utilización preferente
Soldadura blanda (selección de DIN 1707)					
Soldadura blanda de plomo/estaño	L-PbSn 20 Sb 3 L-PbSn 12 Sb	20 Sn; máx. 3 Sb; resto Pb 12 Sn; máx. 0,7 Sb; resto Pb	186...270 250...295	270 295	Soldadura blanda en la construcción de carrocerías y de radiadores
	L-PbSn 40 (Sb) L-PbSn 8 (Sb)	40 Sn; máx. 0,5 Sb; resto Pb 8 Sn; máx. 0,5 Sb; resto Pb	183...235 280...305	235 305	Estañado; soldadura blanda para paquetes de chapa fina, motores eléctricos y construcción de radiadores
Soldadura blanda de estaño/plomo	L-Sn 63 Pb L-Sn 60 Pb	63 Sn; resto Pb 60 Sn; resto Pb	183 183...190	183 190	Soldadura en ondas de circuitos integrados; estañado de cobre y sus aleaciones en la industria eléctrica
Soldadura blanda de estaño/plomo con adición de Ag, Cu o P	L-Sn 63 PbAg L-Sn 60 Pb Cu 2 L-Sn 60 PbCuP	63 Sn; máx. 1,5 Ag; resto Pb 60 Sn; máx. 2 Cu; resto Pb 60 Sn; máx. 0,2 Cu; máx. 0,004 P; resto Pb	178 183...190 183...190	178 190 190	Soldadura en ondas de circuitos integrados Soldadura con soplete de cobre y aleaciones en la industria eléctrica. Soldadura por inmersión de cobre y sus aleaciones en la industria eléctrica
Soldaduras blandas especiales	– L-SnIn 50 L-SnAg 5 L-SnSb 5 L-SnCu 3	57 Bi; 26 In; resto Sn 50 Sn; resto In máx. 5 Ag; resto Sn máx. 5,5 Sb; resto Sn máx. 3,5 Cu; resto Sn	79 117...125 221...240 230...240 230...250	79 125 240 240 250	Soldadura blanda de piezas delicadas al calor, de fusibles, de vidrio/metal, de cobre en la industria eléctrica y de las tuberías de agua y de refrigeración
	L-SnZn 10 L-ZnAl5	máx. 15 Zn; resto Sn máx. 6 Al; resto Zn	200...250 380...390	250 390	Soldadura blanda por ultrasonidos de aluminio y de cobre sin fundente.

Tipo de material de soldadura	Nombre abreviado	Princ. componentes de aleación, valores medios % en peso	Zona de fusión de la soldad. °C	Temp.[1] mínima de la pieza a soldar °C	Propiedades Utilización preferente
Soldaduras duras y de alta temperatura (Selección de DIN 8513 y de ISO 3677)					
Soldadura con base de aluminio	L-AlSi 12 L-AlSi 10 L-AlSi 7,5	12 Si; resto Al 10 Si; resto Al 7,5 Si; resto Al	575...590 575...595 575...615	590 595 615	Soldadura dura de aluminio y sus aleaciones con punto de fusión suficientemente alto
Soldadura con cont. de plata Ag < 20%	BCu 75AfP 643 L-Ag 15 P	18 Ag; 7,5 P; resto Cu 15 Ag; 5 P; resto Cu	643 650...800	650 710	Soldadura dura de Cu/Cu sin fundente
	L-Ag 5	5 Ag; 55 Cu; 0,2 Si; resto Zn	820...870	860	Soldadura dura de acero, Cu, Ni y sus aleaciones con fundente
Soldadura con cont. de plata Ag ≥ 20%	L-Ag55Sn L-Ag44	55 Ag; 22 Cu; 5 Sn; resto Zn 44 Ag; 30 Cu; resto Zn	620...660 675...735	650 730	Soldadura dura de acero, Cu y aleaciones de Cu, Ni y aleaciones de Ni con fundente
	L-Ag49	49 Ag; 16 Cu; 7,5 Mn; 4,5 Ni; resto Zn	625...705	690	Soldadura de metal duro, acero, W, Mo, Ta con fundente
	BAg 60 CuIn 605-710 BAg 60 CuSn 600-700 L-Ag 72 BCu 58 AgNi 780-900	60 Ag; 13 In; resto Cu 60 Ag; 10 Sn; resto Cu 72 Ag; resto Cu 40 Ag; 2 Ni; resto Cu	605...710 600...720 780 780...900	710 720 780 900	Soldadura dura de Cu, Ni, acero al vacío o con gas protector
	BAg 68 CuPd 807-810 BAg 54 PdCu 901-950 BAg 95 Pd 970-1010 BAg 64 PdMn 1180-1200	68 Ag; 5 Pd; resto Cu 54 Ag; 21 Pd; resto Cu 95 Ag; resto Pd; 64 Ag; 3 Mn; resto Pd	807...810 901...950 970...1010 1180...1200	810 950 1010 1200	Soldadura dura de acero, aleaciones de Ni y Cu, Mo, W, Ti al vacío o con gas protector
	L-Ag 56 InNi L-Ag 85	56 Ag; 14 In; 4 Ni; resto Cu 85 Ag; resto Mn	620...730 960...970	730 960	Soldadura dura al vacío o con gas protector de aceros al Cr o al Cr /Ni
Soldadura con base de cobre	BCu 86 SnP 650-700	6,75 P; 7 Sn; resto Cu	650...700	690	Soldadura dura de Cu y aleaciones de Cu sin fundente. No para aleaciones de Fe o Ni o que contengan S

[1] Depende del procedimiento

Soldadura dura y de alta temperatura *(Continuación)*

Tipo de material de soldadura	Nombre abreviado	Princ. componentes de aleación, valores medios % en peso	Zona de fusión de la soldad. °C	Temp.[1] mínima de la pieza a soldar °C	Propiedades Utilización preferente
Soldadura con base de cobre (continuación)	L-CuP 8	8 P; resto Cu	710...740	710	Soldadura dura de Cu/Cu sin fundente. No para aleaciones de Ni o Fe o que contengan S
	L-CuZn 40	60 Cu; 0,2 Si; resto Zn	890...900	900	Soldadura dura con fundente de acero, Cu, Ni y sus aleaciones
	L-CuSn 6 L-SFCu	6 Sn máx.; 0,4 P; resto Cu 100 Cu	910...1040 1083	1040 1100	Soldadura dura al vacío o con gas protector de acero
	BCu 86 MnNi 970-990 BCu 87 MnCo 980-1030 BCu 96,9 NiSi 1090-1100	2 Ni; 12 Mn; resto Cu 3 Co; 10 Mn; resto Cu 0,6 Si; 2,5 Ni; resto Cu	970...990 980...1030 1090...1100	990 1020 1100	Soldadura dura de metal duro, acero, W, Mo, Ta al vacío o con gas protector a presión parcial
Soldadura con base de níquel	L-Ni6 L-Ni1 L-Ni5	11 P; resto Ni 3 B; 14 Cr; 4,5 Fe; 4,5 Si; resto Ni 19 Cr; 10 Si; resto Ni	880 980...1040 1080...1135	925 1065 1150	Soldadura dura de Ni, Co y sus aleaciones, aceros no aleados o de baja o alta aleación al vacío o con hidrógeno como gas protector
Soldadura con base de oro	BAu 80 Cu 910	20 Cu; resto Au	910	910	Soldadura dura de Cu, Ni, acero al vacío o con gas protector
	BAu 82 Ni 950	18 Ni; resto Au	950	950	Soldadura dura de W, Co, Ni, aceros al vacío o con gas protector
Soldadura activa con cont. de titanio	– – –	72,5 Ag; 19,5 Cu; 5 In; resto Ti 70,5 Ag; 26,5 Cu; resto Ti 96 Ag; resto Ti	730...760 780...805 970	850 850 1000	Soldadura dura directa de cerámica no metalizada entre sí o con acero al vacío o con argón como gas protector

(1) Depende del procedimiento

Materiales electrotécnicos

Resistencia específica o resistividad a 20 °C

(Resistencia de un alambre de 1 m de longitud y 1 mm² de sección)

La resistividad depende mucho de la pureza de los metales. El coeficiente medio de temperatura α se refiere, siempre que sea posible, a temperaturas entre 0 y 100 °C. La resistividad a la temperatura t °C es $\rho_t = \rho_{20}\,[1 + \alpha(t - 20\ °C)]$. Cálculo de la temperatura de un devanado partiendo del incremento de resistencia (pág. 134)

1 Ωmm² = 1 μΩ, 1 S m/mm² = 1 MS/m (S = Siemens)

Material	Resistividad ρ μΩm	Conductibilidad $\gamma = 1/\rho$ MS/m	Coef. medio temper. α × 10^{-3} 1/°C	Temp. superior utiliz. aprox. °C
Aluminio, Al 99,5 (blando)	0,0265	35	3,8	–
Aleación aluminio E-AlMgSi	<0,0328	>30,5	3,8	–
Bismuto	1,07	0,8	4,54	–
Plomo Pb 99,94	0,206	4,8	4	–
Bronce endurecido CuBe 0,5	0,04...0,05	20...25	–	300
Cadmio	0,068	13	–	–
Chapa magnética I	0,21	4,76	–	–
Chapa magnética IV	0,56	1,79	–	–
Oro (oro fino)	0,023	45	4	–
Aleación de oro-cromo Cr 2,05	0,33	3,03	± 0,001	–
Fundición gris	0,6...1,6	0,62...1,67	1,9	–
Aleac. p. res. calef.[1] CrAl 20 5	1,37	0,73	0,05	1200
NiCr 30 20	1,04	0,96	0,35	1100
NiCr 60 15	1,13	0,88	0,15	1150
NiCr 80 20	1,12	0,89	0,05	1200
Escobillas de carbón, sin relleno	10...200	0,1...0,05	–	–
con relleno metálico	0,05...30	20...0,03	–	–
Cobre, blando	0,01754	57	3,9	–
duro (lam. en frío)	0,01786	56	3,9	–
Latón CuZn39Pb3	0,0667	15	2,33	–
CuZn20	0,0525	19	1,60	–
Molibdeno	0,052	18,5	4,7	1600[3]
Alpaca CuNi 12 Zn 24	0,232	4,3	–	–
Níquel Ni 99,6	0,095	10,5	5,5	–
Platino	0,106	10,2	3,923	–
Mercurio	0,941	1,0386	0,9	–
Plata (plata pura)	0,016	66,5	4,056	–
Acero C15	0,14...0,16	7,15	–	–
Tántalo	0,124	8,06	3,82	–
Aleac. p. res óhmicas[2] CuMn 12 Ni	0,43	2,33	± 0,01	140
CuNi 30 Mn	0,40	2,50	0,14	500
CuNi 44	0,49	2,04	±0,04	600
Tungsteno	0,056	18,2	4,82	–
Cinc	0,06	16,67	4,17	–
Estaño	0,114	8,82	4,4	–

(1) DIN 17470. (2) DIN 17 471. (3) En atmósfera protectora o al vacío.

Materiales aislantes

Valores de cualidades eléctricas

Las propiedades dependen mucho de la pureza, homogeneidad, elaboración y envejecimiento del material aislante, del contenido de humedad y de la temperatura. Los valores orientativos que siguen corresponden a probetas no envejecidas a temperatura ambiente y contenido de humedad medio; 1 minuto a la tensión de ensayo a 50 Hz; probetas de 3 mm de grueso.
Factor de pérdidas tan δ = Potencia eficaz/Potencia reactiva; en EE.UU. factor de pérdida = $\varepsilon_r \cdot \tan\delta$.

Material aislante	Const. dieléctr. relativa a 800 Hz (Aire = 1) ε_r	Factor de pérdidas tan δ a 800 Hz $\times 10^{-3}$	Factor de pérdidas tan δ a 10^6 Hz $\times 10^{-3}$	Resitividad volumétrica 10^n Ω m Valores de n	Rigidez dieléctrica kV_{ef}/mm	Resistencia a las corrientes de fuga s. DIN 53 480 Niveles
Acetato de celulosa	4,7...5,8	17...24	48...66	11...13	32	–
Resinas expoxi de colada y prensadas	3,2...5	2...30	2...60	10...15	6...15	KA 3b, KA 3c
Mica	5...8	0,1...1	0,2	13...15	60	KA 3c
Porcelana dura	5...6,5	≈ 5	6...12	> 9	30...40	KA 3c
Parafina	1,9...2,3	< 0,3	< 0,3	13...16	10...30	–
Masas fenólicas prensadas con relleno inorgánico	5...30	30...400	50...200	6...11	5...30	KA 1
Masas fenólicas prensadas con relleno orgánico	4...9	50...500	50...200	6...10	5...20	KA 1
Poliamida	8...14	20...200	20...200	6...12	10...50	KA 3b, KA 3c
Polietileno	2,3	0,2...0,6	0,2...0,6	> 15	≈ 80	KA 3c
Policarbonato	3	1,0	10	14...16	25	KA 1
Masa de colada prensada de poliéster	3...7	3...100	6...60	8...14	6...25	KA 3c
Polimetilmetacrilato	3,1...3,4	40	20	> 13	30	KA 3c
Polipropileno	2,3	< 0,5	< 0,5	> 15	–	KA 3b
Poliestireno	2,5	0,1	0,1	14	40	KA 2, KA 1
Politetrafluoretileno	2	0,1...0,5	0,1...0,5	13...15	50	KA 3c
Cloruro de polivinilo (PVC)	3,3...6,5	15...150	10...100	10...14	15...50	KA 3b
Vidrio de cuarzo	3,5...4,2	0,5	0,2	14...16	25...40	KA 3c
Silicona	5...8	≈ 4	≈ 4	10...14	20...60	KA 3c
Esteatita	5,5...6,5	1...	0,3...2	10...12	20...45	KA 3c
Cerámica al titanio	12...10000	–	0,05...100	–	2...30	–
Aceite de transformador, seco	2...2,7	≈ 1	≈ 10	11...12	5...30	–
Goma blanda	2...14	0,2...100	–	2...14	15...30	KA 1...KA 3c

Valores de las propiedades de los materiales no metálicos

Materiales cerámicos

Material	Composición	$\rho^{(1)}$ g/cm³	$\sigma_{bB}^{(2)}$ MN/m²	$\sigma_{dB}^{(3)}$ MN/m²	$E^{(4)}$ GN/m²	$\alpha_t^{(5)}$ 10^{-6}/K	$\lambda^{(6)}$ W/mK	$c^{(7)}$ kJ/kg · K	$\rho_D^{(8)}$ Ω · cm	$\varepsilon_r^{(9)}$	tan $\delta^{(10)}$ 10^{-4}
Nitruro de aluminio	AlN > 97%	3,3	250...350	1100	320...350	5,1	100...220	0,8	> 10^{14}	8,5...9,0	3...10
Óxido de aluminio	Al_2O_3 > 99%	3,9...4,0	300...500	3000...4000	380...400	7,2...8,6	20...40	0,8...0,9	> 10^{11}	8...10	2
Titanato de aluminio	$Al_2O_3 \cdot TiO_2$	3,0...3,2	20...40	450...550	10...20	0,5...1,5	< 2	0,7	> 10^{11}	–	–
Óxido de berilio	BeO > 99%	2,9...3,0	250...320	1500	300...340	8,5...9,0	240...280	1,0	> 10^{14}	6,5	3...5
Carburo de boro	B_4C	2,5	300...500	2800	450	5,0	30...60	–	$10^{-1}...10^{2}$	–	–
Cordierita p.ej. KER 410, 520	$2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$	1,6...2,1	40...200	300	70...100	2,0...5,0	1,3...2,3	0,8	> 10^{11}	5,0	70
Grafito	C > 99,7%	1,5...1,8	5...30	20...50	5...15	1,6...4,0	100...180	–	10^{-3}	–	–
Porcelana p.ej. KER 110 – 2 (sin vitrificar)	Al_2O_3 30...35%, resto de SiO_2 + fase de vidrio	2,2...2,4	45...60	500...550	50	4,0...6,5	1,2...2,6	0,8	10^{11}	6	120
Carburo de silicio sinterizado sin presión SSiC	SiC > 98%	3,1...3,2	400...450	> 1200	400	4,0...4,5	90...120	0,8	10^{3}	–	–
Carburo de silicio prensado en caliente HPSiC	SiC > 99%	3,1...3,2	450...650	> 1500	420	4,0...4,5	100...120	0,8	10^{3}	–	–
Carburo de silicio sinterizado por reacción SiSiC	SiC > 90% + Si	3,0...3,1	300...400	> 2200	380	4,2...4,3	100...140	0,8	10...100	–	–
Nitruro de silicio sinterizado SSN	Si_3N_4 > 90%	3,2	400...700	> 2500	300	3,2...3,5	30...40	0,7	10^{12}	–	–

Materiales cerámicos (*Continuación*)

Material	Composición	ρ[1] g/cm³	σ_{bB}[2] MN/m²	σ_{dB}[3] MN/m²	E[4] GN/m²	α_l[5] 10^{-6}/K	λ[6] W/mK	c[7] kJ/kg · K	ρ_D[8] Ω · cm	ε_r[9]	tan δ[10] 10^{-4}
Nitruro de silicio prensado en caliente HPSN	Si_3N_4 > 95%	3,2	600...900	> 3000	310	3,2...3,5	30...40	0,7	10^{12}	–	–
Nitruro de silicio sinterizado por reacción RBSN	Si_3N_4 > 99%	2,4...2,6	200...300	–	140...160	2,9...3,0	15...20	0,7	10^{14}	–	–
Esteatita p.ej. KER 220, 221	SiO_2 55...65% MgO 25...35% Al_2O_3 2...6% Óxido alcalino <1,5%	2,6...2,9	120...140	850...100	80...100	7,0...9,0	2,3...2,8	0,7...0,9	> 10^{11}	6	10...20
Carburo de titanio	TiC	4,9	–	–	320	7,4	30	–	$7 \cdot 10^{-5}$	–	–
Nitruro de titanio	TiN	5,4	–	–	260	9,4	40	–	$3 \cdot 10^{-5}$	–	–
Dióxido de titanio	TiO_2	3,5...3,9	90...120	300	–	6,0...8,0	3...4	0,7...0,9	–	40...100	8
Dióxido de circonio estabilizado parcialmente	ZrO_2 > 90% resto Y_2O_3, Mg	5,7...6,0	500...800	1800...2100	200	9,0...11,0	2...3	0,4	10^8	–	–
Normas		DIN 51 065 DIN 40 685/ VDE 0335 DIN 1306	DIN 40 685/ VDE 0335 DIN 51 221	Informe especial DKG Nº 22	DIN 40 685/ VDE 0335	DIN 40 685/ VDE 0335	DIN 40 685/ VDE 0335	DIN 40 685/ VDE 0335	DIN 40 685/ VDE 0335 VDE 0303 VDE 0446 VDE 0560 VDE 0674		

Según las materias primas, la composición y el proceso de fabricación, los valores de las propiedades pueden variar dentro de amplios límites. La denominación "KER" corresponde a DIN 40685 Parte 1

(1) Densidad
(2) Resistencia a la flexión de 3 puntos. Ver su determinación en el informe especial Nº 22 de la DKG.
(3) Resistencia a la compresión. Ver su determinación en el informe especial Nº 22 de la DKG.
(4) Módulo de elasticidad
(5) Coeficiente de dilatación longitudinal a 1000 °C.
(6) Conductibilidad térmica a 20 °C.
(7) Calor específico.
(8) Resistencia eléctrica específica a 20 °C y 50 Hz.
(9) Coeficiente dieléctrico.
(10) *Factor dieléctrico de pérdidas a 25 °C y 10 MHz.*

Materiales estratificados prensados

Tipo	Clase de resina	Material de relleno o carga	ϑ_G[1]	σ_{bB}[2] mínimo N/mm²	$a_{k\,10}$[3] mínimo kJ/m²	CTI[4] min. Niveles	Propiedades Ejemplos de utilización
Papel duro (DIN 7735)							
Hp 2061	Resina fenólica	Tiras de papel	120	150	5	CTI 100	Para solicitaciones mecánicas
Hp 2062.8	Resina fenólica	Tiras de papel	120	80	2,5	CTI 100	Escasa absorc. de agua, a prueba climas tropicales
Hp 2063	Resina fenólica	Tiras de papel	120	80	2,5	CTI 100	Para solicitaciones eléctricas; material de base de circuitos impresos FR2
Hp 2262	Resina de melamina	Tiras de papel	90	100	–	CTI 600	Especialm. resist. a las corrientes parás.; placas decoración
Hp 2361.1	Resina epoxídica	Tiras de papel	90	120	2	CTI 100	Buenas propiedades eléctricas y mecánicas; inflamable, material de base de circuitos impresos FR3
Tela dura prensada (DIN 7735)							
Hgw 2072	Resina fenólica	Tela de fibra de vidrio	130	20	40	CTI 100	Elevada resistencia mecánica, eléctrica y térmica
Hgw 2082	Resina fenólica	Tela fina de algodón	110	130	10	CTI 100	Buen mecanizado, buen comportamiento al deslizamiento y al desgaste; especialm. para ruedas dentadas; cojinetes
Hgw 2083	Resina fenólica	Tela fina de algodón	110	150	12	CTI 100	
Hgw 2372.1	Resina epoxídica	Tela de fibra de vidrio	120	350	50	CTI 200	Mágnificas propiedades mecánicas y eléctricas; material de base de circuitos impresos FR4
Hgw 2572	Resina de silicona	Tela de fibra de vidrio	180	125	25	CTI 400	Para temperaturas de trabajo elevadas
Fieltros duros (mats) (DIN 7735)							
Hm 2472	Resina de poliéster no saturada	Filtro de fibra de vidrio	130	200	60	KC 500	De gran valor mecánico y eléctrico, especialmente resistente a las corrientes parásitas

(1) Temperatura límite según VDE 0304. Parte 2, para 25 000 horas de servicio.
(2) Resistencia a la flexión según DIN 53 452.
(3) Resiliencia según DIN 53 453.
(4) Resistencia a las corrientes parásitas según DIN IEC 112, procedimiento para la evaluación del número de comparación y de comprobación de la formación del recorrido parásito (CTI).

Masas de moldeo sintéticas

Denominación química	Abreviatura	t_G[1] °C	E[2] N/mm²	$a_{k\,10}$[3] mínimo kJ/m²	Resistencia a 20°C contra[4] Gasolina	Benceno	Diesel	Alcohol	Aceite mineral	Propiedades sobresalientes Ejemplos de utilización
Termoplásticos (Selección de DIN 7740 a 7749; DIN 16 771 a 16 781)										
Acrilnitril-butadieno-estireno	ABS	80	2000	5...15	0	–	×	+	+	Elevado brillo, también hay calidades transparentes; piezas para armazones tenaces resistentes a los golpes
Hidrocarburos fluorados	FEP PFA	250/205 260	600 650	(6) (6)	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	Fuerte rigidez al aumentar la temperatura, resistente a los productos químicos; recubrimientos, piezas de fricción, juntas
Poliamida 11,12	PA 11,12	140/120	1500	20...40	+	+	+	0	+	Tenaz y resistente al desgaste, bajo coeficiente de rozamiento, buena amortiguación del sonido, aproximadamente 1 a 3 % de agua para que tenga buena tenacidad. La PA 11/12 absorbe bastante menos agua
Poliamida 6	PA 6	170/120	2500	40...90	+	+	+	×	+	
Poliamida 66	PA 66	190/120	2800	10...20	+	+	+	×	+	
Poliamida 6 + GF[5]	PA 6-GF	190/120	5000	8...14	+	+	+	×	+	Armazones de máquinas resistentes a los golpes
Poliamida 66 + GF[5]	PA 66-GF	200/120	6000	6...12	+	+	+	×	+	
Poliamida 6/6 T + GF[5]	PA 6/6 T-GF	250/170	10000	6...12	+	+	+	×	+	Armazones y componentes rígidos a temperaturas elevadas (en el espacio del motor)
Poliftalamida + GF[5]	PPA-GF	270/185	10000	6...10	+	+	+	×	+	
Tereftalato de polibutileno	PBT	160/120	1700	2...4	+	+	+	+	+	Resistente al desgaste, no es sensible a los productos químicos, a partir de 60 °C disminuye la rigidez degradación hidrolítica a partir de 70 °C
Tereftalato de polibutileno + GF[5]	PBT-GF	180/120	5000	5.9	+	+	+	+	+	Con respecto al PBTP sin GF, mayor rigidez
Policarbonato	PC	130/125	2500	20...30	+	–	+	0	+	Tenaz y rígido en amplia zona temperaturas, transparente.
Policarbonato + GF[5]	PC-GF	130	4500	6...15	+	–	+	0	+	Componentes de gran rigidez
Polietileno	PE	80	1000	(6)	×	0	+	+	+	Recipientes resist. a los ácidos y tubos, láminas
Tereftalato de polietileno	PET	180/120	2000	2...7	+	+	+	+	+	Resistente al desgaste, no le atacan los productos químicos; a partir de 60 °C disminuye la rigidez, a partir de 70 °C degradación hidrolítica en el agua
Tereftalato de polietileno + GF[5]	PET-GF	200/120	7000	5...12	+	+	+	+	+	Con respecto al PETP sin GF, mayor rigidez
Polimetilmetacrilato	PMMA	80	3000	1,5...2,5	+	–	×	0	+	Transparente como el vidrio y en todos los colores, resistente al envejecimiento; cristales de dispersión, lentes
Polioximetileno	POM	125/120	2000	5...7	+	0	+	+	+	Sensible a la formación de grietas bajo tensión por acción de los ácidos; piezas mooldeadas muy precisas
Polioximetileno + GF	POM-GF	140/120	6000	3...5	+	0	+	+	+	
Eter polifenílico + SB[7]	(PPE+S/B)	120/100	2500	4...14	0	–	0	0	+	Resistente al agua caliente, contrario al fuego
Sulfuro polifenílico + GF	PPS-GF	270/240	13000	1...1,4	+	+	+	+	+	Resistente a altas temperaturas, espacio del motor
Polipropileno	PP	130/110	1500	6...10	×	0	+	×	+	Artíc. caseros, cajas de baterías, tapas, piezas de lavadoras
Polipropileno + GF[5]	PP-GF	130/110	4000	4...8	×	0	+	×	+	Ventiladores
Poliestireno	PS	80	2500	2...3	–	–	0	0	×	Piez. mold., transpar. y opacas en t. colores
Cloruro de polivinilo se mantienen plastif.	PVC-P	80/70	200	(6)	–	–	0	0	+	Cuero artificial; tapas elásticas; aislamiento de cables, mangueras, juntas
Cloruro de polivinilo no se mantienen plastif.	PVC-U	70-60	300	2...30	+	–	+	+	+	Piezas exteriores resist. a la intemperie, tuberías, instalaciones galvánicas
Poliuretano duro	PUR	150/130	900	2,5	+	+	+	0	+	Dureza Shore D = 80; piezas de fricción y desgaste
Poliuretano blando	PUR	120/100	40	(6)	+	0	+	0	+	Dureza Shore A = 90; membranas, aislamientos
Estireno-acrilonitrilo	SAN	90	3000	1,5...2,5	0	–	×	0	+	Piez. mold., b. resist. química, tamb. transpar.
Estireno-butadieno	S/B	60	1500	4...14	–	–	–	×	+	Piez. p. cajas resist. a golpes p. muchas aplic.
Materiales plásticos amorfos que sólo pueden trabajarse por prensado y sinterizado										
Poliimida	PI	320/290	3100	2	+	+	+	+	+	Altam. resistente al calor y a la radiación, dura
Politetrafluoretileno	PTFE	300/240	400	13...15	+	+	+	+	+	Fuerte reducción de la rigidez, al aumentar la temperatura, elevada resistencia al calor, envejecimiento y productos químicos; bajo coeficiente de rozamiento, piezas de fricción

(1) Temperatura máxima de servicio; corta duración (1 h)/larga duración (5000 h).
(2) Módulo de elasticidad, valor orientativo aproximado.
(3) Resiliencia según DIN 53453.
(4) + resisten bien, × resistencia condicionada, 0 poca resistencia, – no resiste.
(5) GF Fibra de vidrio (25 a 35 por ciento en peso).
(6) No se rompe.
(7) Mezcla de polímeros de éter polifenílico y estireno/butadieno.

Tipo	Clase de resina	Material de relleno o carga	t_C[1] °C	σ_{bB}[2] mínimo N/mm²	a_n[3] mínimo kJ/m²	CTI[4] mínimo Niveles	Propiedades Ejemplos de utilización
Termoestables (Selección de DIN 7708, 16 911, 16912)							
11,5	Fenol-cresol	Piedra molida	180/130	50	3,5	CTI 150	Piezas solicitadas térmicam., elevada resistencia a la combustión lenta, buen reflexión del calor, escasa variación de medidas en atmósfera húmeda. Buenas propiedades eléctricas en el tipo 11.5 y 13.5
12[13]		Fibra de amianto	200/140	50	3,5	CTI 150	
13.5[13]		Mica	180/130	50	3,0	CTI 150	
16		Cordón de amianto	200/140	70	15	CTI 150	
30.5		Serrín	140/100	60	5	CTI 125	El tipo 30.5 y el 31.5 para piezas altamente solicitadas eléctricamente
31 y 31.5		Serrín	140/100	70	6	CTI 125	
51		Celulosa[5]	140/100	60	5	CTI 150	Algo mayor absorción de agua que los tipos 11 a 16. Para piezas bien aislantes en el campo de la baja tensión. El tipo 74 es tenaz
71		Hebras de algodón[5]	140/100	60	6	CTI 150	
74		Tel. alg. desmenuz.[5]	140/100	60	12	CTI 150	
83		Fibras de algodón[6]	140/100	60	5	CTI 150	Más tenaz que el tipo 31
–		Fibra de vidrio corta	180/140	80	6	CTI 150	Elevada resist. mecánica, resist. a la incandescencia
150	Melamina	Serrín	120/80	70	6	CTI 600	Res. a la incandescencia, m. elev. valores eléc., elev. contrac. sec.
181	Fenol-melamina	Celulosa	120/80	80	7	CTI 250	Para piezas solicitadas eléctrica. y mecánicam.
801 y 803	Poliéster	Fibra de vidrio, subst. carga inorgánicas	170/130	60	22	CTI 600	Tipo 801, 804, se necesita poca pres. en prensa (son posibles piez. de gran superf.); tipos 803, 804 resist. a la incandescencia
802 y 804			170/130	55	4,5	CTI 600	
870	Epóxido	Piedra molida	180/130	50	5	CTI 500	El tipo 870 y 871 como masa de baja presión para recubrir piezas metálicas y componentes electrónicos. Bajas temps. de reblandecimiento, poca contracción
871		Fibra de vidrio corta	180/130	80	8	CTI 500	
872		Fibra de vidrio larga	180/130	90	15	CTI 500	
–	Silicona	Fibra de vidrio corta	340/180	55	2	CTI 600	Resist. a alta temper., muy buenos valores eléctr.
–	Bismaleinimida	Fibra de vidrio larga	320/170	200	25	CTI 150	Elevada resist., incluso a temperaturas elevadas; para piezas de fricción y cojinetes a temp. elevada
–		Grafito	290/160	65	4	–	

Material	Abreviatura[1]	Campo utiliz.[8] °C	Dureza Shore A	Resist. al desgarro[9] N/mm²	Alargam. de desg.[9] %	Resistencia contra[1] Envejecim.	Ozono	Gasolina	Diesel	Aceit. minerales	Líquidos hidráulicos dificilm. inflamables HF[12] A	B	C	D
Elastómeros														
Caucho de acrilato	ACM	–20...+150	55...90	5...13	100...350	×	+	–	×	+	+	×	×	–
Caucho de acrilonitrilo-butadieno	NBR	–30...+120	35...100	10...25	100...700	×[10]	–[10]	×	×	+	×	×	+	–
Caucho de butilo	IIR	–40...+125	40...85	7...17	300...600	×[10]	×[10]	–	–	–	–	–	+	×
Caucho de clorpreno	CR	–40...+110	20...90	7...25	100...800	×	×[10]	×	×	×	0	0	+	–
Caucho de cloropolietileno	CM	–30...+140	50...95	10...20	100...700	+	+	0	0	×	×	×	+	–
Polietileno clorosulfonado	CSM	–30...+140	50...85	15...25	200...500	+	+	–	0	0	×	×	+	–
Caucho de epiclorhidrina	ECO	–40...+135	50...90	6...15	150...500	+	+	×	×	+	×	×	–	–
Caucho de etilen-acrilato	EAM	–40...+185	50...75	7...14	200...500	+	+	0	0	0	+	×	×	–
Caucho de etilen-propileno	EPDM	–50...+150	20...85	7...17	150...500	+	+	–	–	–	–	–	+	+
Caucho al flúor	FPM	–25...+250	40...90	7...17	100...350	+	+	+	+	+	+	+	–	+
Caucho de fluorosilicona	FMQ	–25...+200	40...70	4...9	100...400	+	+	×	+	+	+	+	–	+
Caucho de nitrilo hidratado	HNBR	–20...+150	45...90	15...35	100...600	+	+	×	+	+	+	+	+	–
Caucho natural	NR	–55...+90	20...100	15...30	100...800	0[10]	–[10]	–	–	–	–	–	+	–
Caucho de poliuretano	AU EU	–25...+80	50...98	20...50	300...700	×	×	–	–	0	–	–	–	–
Caucho de silicona	VMQ	–60...+200	20...80	4...9	100...400	+	+	–	0	×	+	+	+	+
Caucho de estireno-butadieno	SBR	–50...+110	30...100	7...30	100...800	0[10]	–[10]	–	–	–	–	–	+	–

(1) Temperatura máxima de trabajo, de corta duración (100 h)/continuada (20 000 h).
(2) Resistencia a la flexión.
(3) Resiliencia.
(4) Resistencia a las corrientes parásitas según DIN IEC 112, procedimiento para la determinación de los números de comparación y de comprobación de la formación del recorrido de corriente parásita (CTI).
(5) Con o sin adición de otras substancias orgánicas de relleno.
(6) y / ó serrín
(7) DIN ISO 1629.
(8) No hay temperatura en régimen continuado.
(9) Según la composición de la mezcla.
(10) Puede mejorarse por adición de substancias protectoras.
(11) + resiste bien, x res'stencia condicionada, 0 poco resistente, – no resiste.
(12) A, emulsión de aceite en agua; B, emulsión de agua en aceite; C, disolución de poliglicol-agua; D, líquidos sintéticos.
(13) Ya no se utiliza en piezas nuevas (prohibición del amianto).

Plásticos – Símbolos abreviados, con denominación química y nombres comerciales[3]

Símbolo	Denominación química	Nombres comerciales
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno	Cycolac, Novodur, Ronfalin, Terluran
ACM	Caucho al acrilato	Cyanacryl, Hycar
EAM[1]	Caucho etileno-acrilato	Vamac
APE[1]	Poliésteres aromáticos	Arylef, APEC
Aramid	Según la poliamida aromática	Kevlar, Nomex
ASA	Acrilonitrilo-estireno-éster acrílico	Luran S
AU	Caucho de poliuretano	Urepan
CA	Acetato de celulosa	Bergacell, Tenite
CAB	Acetato butirato de celulosa	Cellidor, Tenite
CM	Caucho al cloropolietileno	Bayer CM, CPE
CR	Caucho al cloropeno	Baypren, Neoprene
CSM	Polietileno clorosulfonado	Hypalon
ECO	Caucho de epiclorhidrina	Herclor, Hydrin
EP	Epóxido	Araldit
EPDM	Caucho de etileno-propileno	Buna AP, Dutral, Keltan, Nordel, Vistalon
EU	Caucho de poliuretano	Adiprene C
FPM	Fluorocaucho	DAI-EL, Fluorel, Tecnoflon, Vitron
HNBR[1]	NBR hidratado	Therban Zetpol
IR	Caucho isopreno	Cariflex IR, Natsyn
MF	Formaldehído de melanina	Bakelite, Resinol, Supraplast, Resopal
MPF	Fenol-formaldehido de melanina	Supraplast, Resiplast
MVQ	Caucho de silicona	Rhodorsil, Silastic, Silopreno
NBR	Caucho acrilonitrilo-butadieno	Buna N, Chemigun, Hycar, Perbunan
PA 46[1]	Poliamida 46	Stanyl
PA 6-3 T	Poliamida amorfa	Trogamid T
PA 6	Poliamida 6 (Polímero de ε-caprolactama)	Akulon, Durethan B, Grilon, Nivionplast, Perlon, Renyl, Sniamid, Technyl, Ultramid B, Wellamid
PA 66	Poliamida 66 (Polímero de hexametilendiamida y ácido adípico)	Akulon, Durethan A, Minlon, Nivionplast, Nylon, Sniamid, Technyl, Ultramid A. Wellamid, Zytel
PA 6/6 T	Poliamida parcialmente aromática	Ultramid T
PA 11	Poliamida 11 (Polímero del ácido aminoundecanoico)	Rilsan B
PA 12	Poliamida 12 (Polímero de lactama láurica)	Grilamid, Rilsan A, Vestamid
PAI	Poliamida-imida	Torlon
PAN	Poliacrilonitrilo	Dralon, Orlon
PBT	Polibutilentereftalato	Crastin, Pocan, Ultradur, Vestodur, Pibiter
PC	Policarbonato	Makrolon, Orgalan, Sinvet, Lexan
(PC + ABS)	Mezcla de policarbonato y ABS	Bayblend T, Cycoloy

Símbolo	Denominación química	Nombres comerciales
(PC + ASA)	Mezcla de policarbonato y ASA	Terblend S
(PC-PBT)	Mezcla de policarbonato y PBT	Makroblend PR, Xenoy
PE	Polietileno	Hostalen, Lupolen, Stamylan, Vestolen
PEBA[1]	Poliéter-amida en bloque	Pebax
PEEK	Poliéter-etercetona	Victrex "PEEK"
PEI	Poliéter-imida	Ultrem
PES	Poliestersulfona	Victrex "PES"
PETFE[1]	Copolímero de politetrafluoretileno-etileno	Hostaflon ET, Tefzel
PETP	Polietilentereftalato	Arnite, Crastin, Mylar, Rynite, Trevira
PF	Fenol-formaldehido	Bakelite, Supraplast, Vyncolite
PFA	Perfluoralcoxi	Teflon PFA
PFEP[1]	Copolímero tetrafluroetileno-hexafluor-propileno	Teflon FEP
PI	Poliimida	Kapton, Kerimida, Kinel, Vespel
PMMA	Polimetilmetacrilato	Degalan, Diakon, Perspex, Plexiglas, Vedril
POM	Polioximetilen, poliformaldehído (un poliacetal)	Delrin, Hostaform C, Ultraform
PP	Polipropileno	Daplen, Hostalen PP, Moplen, Samylan P, Starpylen, Vestolen
PPA	Poliftalamida, parcialmente aromática	Amodel
(PPE + SB)	Mezcla de éter de polipropileno + SB	Noryl, Luranyl
(PPE + PA)	Mezcla de éter de polipropileno + PA	Noryl GTX, Ultranyl, Vestoblend
PPS	Sulfuro de polifenilo	Craston, Fortron, Ryton, Tedur
PS	Poliestireno	Edistir, Hostyren, Polystyrol, Vestyron
PSU	Polisulfona	Udel, Ultrason S
PTFE	Politetrafluoretileno	Fluon, Hostaflon, Teflon
PUR	Poliuretano	Desmopan, Elastollan, Lycra, Vulkollan
PVC-P	Cloruro de polivinilo con reblandeciente	Trosiplast, Vestolit, Vinoflex
PVC-U	Cloruro de polivinilo duro	Trovidur, Hostalit, Vinidur, Vestolid
PVDF	Fluoruro de polivinilideno	Dyflor, Kymar, Solef
PVF	Fluoruro de polivinilo	Tedlar
SAN	Estireno-acrilonitrilo	Kostil, Luran, Tyril
SB	Estireno-butadieno	Hostyren, Lustrex
SBR	Caucho de estireno-butadieno	Buna Hüls, Buna S, Cariflex S
TPE-E[1]	TPE[2] base de poliéster	Arnytel, Hytrel, Riteflex
TPE-O[1]	TPE[2] base de olefina	Leraflex, Santoprene
TPE-S[1]	TPE[2] base de estireno	Cariflex, Evoprene, Kraton
UF	Formaldehído uréico	Bakelite, Pollopas
UP	Poliéster insaturado	Keripol, Leguval, Palatal
PVDF	Fluoruro de polivinilideno	Dyflor, Kymar, Solef

[1] Abreviaturas del material aún no normalizadas. [2] TPE: elastómero termoplástico. [3] ISO 1043/DIN 7728 (termoplásticos, termoestables), ISO 1629 (Elastómeros).

Lacas para vehículos

Estructura de la laca con lacado UNI

Capa	Espesor capa en μm	Estructura del lacado	Composición					
			Aglutinante	Disolvente	Pigmentos	Rellenos	Aditivos y FK	Aplicaciones
1a	20...25	KTL	Resinas epoxi poliuretano	Agua, peq. proporciones de disolventes orgánicos mezclables con agua	Inorgánico-(orgánico)	Rellenos inorgánicos	Substancias tensoactivas, productos anticráteres, FK 20%	ET
1b	30...35	DS-KTL						
2a	aprox. 35	Relleno	Resinas de poliéster, melamina, urea o epoxi	Aromáticos, alcoholes	Inorgánicos y orgánicos	Materiales sólidos inorgánicos	p.ej. humectantes, substancias tensoactivas (no siliconas) FK 58 a 62%	PZ ESTA-HR
2b	aprox. 35	Relleno al agua	Resinas de poliéster o melamina solubles en agua	Agua, peq. proporciones de disolventes orgánicos mezclables con agua				ESTA-HR
3a	40...50	Laca UNI de cubrimiento	Resinas alquídicas o melamínicas	Esteres, aromáticos, alcoholes		–	p.ej. agentes de igualación, humectantes	PZ ESTA-HR
3b	9 a 30 (depende de la tonalidad del color)	Laca base UNI soluble en agua	Resinas de poliéster, poliuretano melamina solubles en agua	–		–	Humectantes sin silicona FK 20 a 40%	PZ ESTA-HR
4a	40...50	Laca clara convencional	Resinas acrílicas o de melamina	Aromáticos, alcoholes, ésteres	–	–	p.ej. agentes de igualación o de protección contra la luz, FK 45%	PZ ESTA-HR
4b	40...50	2K-HS	Resinas de acrilato HS o de poli-iso-cianatos	Esteres, aromáticos	–	–	p.ej. agentes de igualación o de protección contra la luz, FK 58%	

Abreviaturas: DS capa gruesa, ESTA-HR rotación alta electrostática, ET electroinmersión, FK partes sólidas, KTL lacado catódico por inmersión, PZ pulverizado neumático, 2K-HS Highsolid de dos componentes (rico en partes sólidas).

Estructura de la laca metalizada

Capa	Espesor capa en μm	Estructura del lacado	Composición					
			Aglutinante	Disolvente	Pigmentos	Rellenos	Aditivos y FK	Aplicaciones
1a	20...25	KTL	Resinas epoxi poliuretano	Agua, peq. proporciones de disolventes orgánicos mezclables con agua	Inorgánico-(orgánico)	Rellenos inorgánicos	Substancias exteriores tensoactivas, productos anticráteres, FK 20%	ET
1b	30...35	DS-KTL						
2a	aprox. 35	Relleno resinas de melamina, urea, epoxi	Alcoholes poliéster	Aromáticos, alcoholes	Inorgánicos y orgánicos	Rellenos inorgánicos	p.ej. humectantes, substancias tensoactivas (no siliconas) FK 58 a 62%	PZ ESTA-HR
2b	aprox. 35	Relleno al agua	Resinas de poliéster o melamina solubles en agua	Agua, peq. proporciones de disolventes orgánicos mezclables con agua				ESTA-HR
3a	10...15	Laca metalizada, laca base	CAB resinas de poliéster o de melamina	Esteres, aromáticos	Plaquitas Al	–	FK 15 a 30%	PZ ESTA-HR
3b	10...15	Laca base metalizada soluble en agua	Resinas de poliéster, poliuretano, melamina solubles en agua	–	Plaquitas Al y mica y pigmentos inorgánicos	–	Humectantes sin silicona	PZ ESTA-HR
4a	40...50	Laca clara convencional	Resinas acrílicas o de melamina	Aromáticos, alcoholes, ésteres	–	–	p.ej. agentes de igualación o de protección contra la luz, FK 45%	PZ ESTA-HR
4b	40...50	2K-HS	Resinas de acrilato HS o de poli-iso-cianatos	Esteres, aromáticos	–	–	p.ej. agentes de igualación o de protección contra la luz, FK 58%	

Abreviaturas: DS capa gruesa, ESTA-HR rotación alta electrostática, ET electroinmersión, FK partes sólidas, KTL lacado catódico por inmersión, PZ pulverizado neumático, 2K-HS Highsolid de dos componentes (rico en partes sólidas).

Lubricantes

Conceptos y definiciones

Un lubricante es un medio de separación de dos partes que se mueven una respecto a otra sometidas a rozamiento. Su función es impedir el contacto directo entre ambas y con ello disminuir el rozamiento y el desgaste. Además el lubricante puede refrigerar y cerrar herméticamente los lugares de rozamiento. Existen lubricantes sólidos, pastosos, líquidos y gaseosos. La elección se rige por los detalles constructivos, por el par de metales y por las solicitaciones de los puntos de rozamiento.

Aditivos
Son substancias activas que se añaden para mejorar las propiedades del lubricante. Los hay que modifican las propiedades físicas (por ejemplo, rebajan el punto de solidificación, mejoran el proceso viscosidad-temperatura) y otros que confieren nuevas propiedades químicas al lubricante (por ejemplo, inhibidores de la oxidacón y de la corrosión). Pueden además modificar la superficie de las piezas en rozamiento (modificación de la fricción) mediante sustancias protectoras contra el desgaste (antidesgaste) o mediante aditivos protectores contra el gripado (presión extrema). Para evitar efectos antagónicos deben ser apropiados entre sí y con las substancias contenidas en el lubricante.

ATF (Automatic Transmission Fluid)
Lubricantes especiales adecuados a las elevadas exigencias de los cambios automáticos.

Cenizas (DIN 51 575, 51 803)
El residuo mineral que queda después de la formación de la capa de óxido o de sulfuro.

Eflorescencia (Separación del aceite, DIN 51817)
Tendencia de los lubricantes a separar una fase líquida del compuesto sólido.

Cuerpos de Bingham
Materiales cuyo comportamiento de fluencia es distinto al de los líquidos de Newton.

Puntos de combustión y de inflamación (DIN ISO 2592)
Temperatura más baja (referida a 1.013 hPa) a la cual la fase gaseosa de un producto mineral se inflama por primera vez (punto de inflamación) o sigue ardiendo durante 5 segundos más (punto de combustión).

Punto de enturbiamiento (DIN ISO 3015)
Temperatura a la cual el aceite mineral se pone turbio debido a formación de cristales de parafinas o separación de otros compuestos sólidos.

Lubricantes EP (Extreme Pressure)
Véase lubricantes de alta presión.

Fluopresión (DIN 51 805)
Según Kesternich es la presión necesaria para que fluya la grasa lubricante a través de una tobera de comprobación normalizada. La fluopresión revela el comportamiento de fluencia de un lubricante, en especial a bajas temperaturas.

Límite de fluencia (DIN 13 342)
Tensión a cortadura mínima, a la cual un material comienza a fluir. Por encima del límite de fluencia un material plástico se comporta reológicamente igual que un líquido.

Friction Modifier
Aditivos polares para lubricantes, que por adsorción sobre la superficie metálica reducen el rozamiento y con ello elevan la capacidad de carga. Reducen también el gripado (Slip-stick).

Grasas de gel
Lubricantes con aditivos inorgánicos que les dan consistencia (por ejemplo, bentonita, baragel, geles silíceos).

Grafito
Lubricante sólido de estructura laminar. El grafito lubrifica muy bien en combinación con agua (p.ej. aire húmedo) así como también en atmósfera de dióxido de carbono. En el vacío no reduce la fricción.

Lubricantes de alta presión
Contienen aditivos para elevar la capacidad de carga, para reducir el desgaste y el gripado (eficaz en general en acero contra acero).

Tiempo de inducción
Espacio de tiempo que transcurre hasta el principio de la alteración de los lubricantes (por ej. envejecimiento de un aceite con inhibidor contra la oxidación).

Inhibidores
Aditivos protectores de los lubricantes (por ejemplo inhibidores contra la corrosión y la oxidación).

Lodos en frío
Productos de descomposición del aceite que se forman a cargas bajas del motor y a temperaturas de trabajo bajas, y se depositan en el cárter. Los lodos en frío aumentan el desgaste y pueden provocar daños en los motores. Los aceites modernos de calidad reducen la tendencia a la formación de lodos en frío.

Consistencia (DIN 51 804, 51 818)
Es una medida de la deformabilidad de grasas y pastas.

Lubricantes aleados
Son lubricantes que contienen aditivos para mejorar propiedades especiales (por ejemplo, capacidad de carga, protección contra el desgaste, estabilidad contra el envejecimiento, protección contra la corrosión, comportamiento viscosidad-temperatura).

Aceites multigrado
Aceites para motores y cajas de cambio con una reducida dependencia de la temperatura en la viscosidad (alto índice de viscosidad VI). Estos aceites están concebidos para su uso durante todo el año y cubren varias clases SAE.

Jabones metálicos
Productos de la conversión de metales o de sus uniones con ácidos grasos. Sirven como espesantes para grasas o como friction modifier (modificadores de fricción).

Aceites minerales
Los aceites minerales son productos de la destilación y refinación del petróleo o del carbón. Constan de numerosos hidrocarburos de diferentes composiciones. Según cuáles sean los componentes prevalentes, se habla de:

- aceites de base parafínica (cadenas de hidrocarburos saturados)
- aceites de base nafténica (anillos de hidrocarburos saturados generalmente de 5 a 6 átomos de carbono en el anillo) o de
- aceites ricos en aromáticos (p.ej. bencenos alquídicos).

A veces se diferencian mucho en sus propiedades físico-químicas.

Bisulfuro de molibdeno (MoS_2)
Lubricante sólido con estructura laminar reticulada. Entre las diferentes capas existen solamente fuerzas de cohesión muy pequeñas, de manera que se puede producir el deslizamiento de unas capas con otras con muy poco esfuerzo de cortadura. La reducción de la fricción se obtiene solamente cuando el MoS_2 se aplica de forma apropiada sobre una superficie de metal, p.ej. también en combinación con un aglutinante (laca de deslizamiento de MoS_2).

Índice de neutralización (DIN 51809)
El índice de neutralización indica el contenido en componentes ácidos y alcalinos de las grasas lubricantes. Es la cantidad de hidróxido de potasio (en mg) necesaria para neutralizar 1 g de los ácidos contenidos en la grasa o una cantidad equivalente a la proporción de los álcalis presentes.

Penetración (DIN ISO 2137)
Es la profundidad de penetración (expresada en 10^{-1} mm) de un cono normalizado en una grasa consistente a una temperatura y tiempo definidos. Cuanto mayor es este valor, tanto más blanda es la grasa.

Substancias polares
Las moléculas con carácter bipolar son fácilmente adsorbidas sobre superficies metálicas. Aumentan la adherencia y la capacidad de carga y por ello también reducen la fricción y el desgaste. Entre ellas están los aceites de ésteres, el éter, poliglicoles y los ácidos grasos.

Punto de fluidez (o congelación) (DIN ISO3016)
Es la temperatura más baja a la cual un aceite aún fluye, al enfriarlo en condiciones definidas.

Reología

Es la ciencia que estudia el flujo de las substancias. Su representación generalmente se hace mediante curvas de fluencia en función de:

Tensión de cortadura $\tau = F/A$ (N/m² = Pa) donde *F* fuerza y *A* superficie

gradiente de velocidad $D = v/y$ (s^{-1}) (gradiente lineal de velocidad) donde *v* velocidad e *y* espesor de la película lubricante

Viscosidad dinámica

$\eta = \tau/D$ (Pa · s)

La unidad "centipoise" (cP) utilizada anteriormente equivale a la unidad (mPa · s).

Viscosidad cinemática

$\nu = \eta/\rho$ (mm²/s)

donde ρ = densidad (kg/m³).

La unidad "centistokes" (cSt) utilizada anteriormente equivale a la unidad (mm²/s).

Líquidos de Newton

Evidencian una dependencia lineal entre τ y *D* de forma recta que pasa por 0 y cuya pendiente depende de la viscosidad.

Todas las substancias que se alejan de este comportamiento de fluencia no se consideran líquidos de Newton.

Viscosidad de estructura

Disminución de la viscosidad a gradiente creciente de velocidad (p.ej. grasas fluyentes, aceites multigrado con incrementadores del VI).

Dilatancia

Incremento de la viscosidad a gradiente creciente de velocidad.

Plasticidad

Comportamiento estructural viscoso de los líquidos con límite adicional de fluencia (p.ej. grasas consistentes).

Tixotropía

Propiedad de líquidos no newtonianos, cuya viscosidad disminuye en función del tiempo de cortadura y que recuperan luego su viscosidad inicial con el tiempo.

Reopexia

Propiedad de los líquidos no newtonianos, cuya viscosidad aumenta en función del tiempo de cortadura y que recuperan su viscosidad inicial con el tiempo.

Punto de goteo (DIN ISO 2176)

Temperatura a la cual una grasa lubricante alcanza una determinada capacidad de fluencia en condiciones de comprobación definidas.

Curva de Stribeck

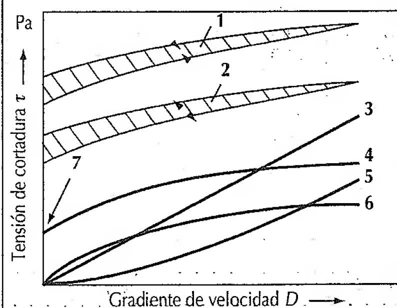
Representación del comportamiento a la fricción de un cojinete de fricción o de bolas lubricado en función de la velocidad de deslizamiento.

Fricción de cuerpos sólidos

El espesor de la película lubricantente es inferior a la altura de las puntas de rugosidad superficial.

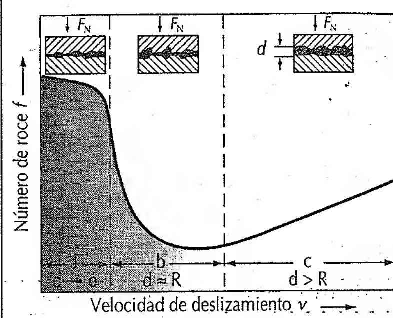
Curvas de fluencia

1 Reopéxica, 2 Tixotrópica, 3 Newtoniana, 4 Plástica, 5 Dilatante, 6 Viscoso-estructural, 7 Límite de fluencia



Curva de Stribeck

R *Rugosidad de la superficie*
d *Distancia entre cuerpo base y cuerpo contrario.*
(a) *Intervalo a: roce de cuerpos sólidos, mucho desgaste.* (b) *Intervalo b: roce mixto, desgaste moderado.* (c) *Intervalo c: hidrodinámico, sin desgaste.*



Roce mixto

Película lubricante de espesor aproximadamente igual a la altura de las puntas de la rugosidad.

Hidrodinámica

Separación total del cuerpo base y del cuerpo contrario (campo casi libre de desgaste).

Viscosidad (DIN 1342, DIN 51550)

Medida del rozamiento interno de las substancias. Es la resistencia (fricción interna) que oponen las partículas a la fuerza que trata de desplazarlas (ver también reología).

Índice de viscosidad (VI) (DIN ISO 2909)

El índice de viscosidad es un número obtenido por cálculo que caracteriza la variación de la viscosidad de un producto de aceite mineral por variación de la temperatura. Cuanto mayor es el VI, tanto menor es la influencia de la temperatura en la viscosidad.

Tabla 1. Grados de viscosidad según ISO (DIN 51519)

Grado de viscosidad ISO	Viscosidad punto central a 40 °C mm²/s	Límites de la viscosidad cinemática a 40 °C mm²/s mín.	máx.
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

Grados de viscosidad

Clasificación de los aceites dentro de diferentes márgenes de viscosidad. Grados de viscosidad ISO (DIN 51519, ver tabla 1).

Grados de viscosidad SAE (DIN 51511, SAE J300, DIN 51512, SAE J306, ver tablas 2 y 3).

Penetración de abatanado (DIN ISO 2137)

Penetración de una probeta de grasa después de ser calentada a 25 °C y ser tratada en un amasador de grasas.

Tabla 2. Grados de viscosidad SAE para aceites de motor (SAE J300, marzo 1993)

Grado de viscosidad SAE	Viscosidad máxima en mPa · s a ...°C	Temperatura máxima límite de bombeado	Viscosidad cinemática en mm²/s a 100 °C mín.	máx.
0 W	3250/–30	–35	3,8	–
5 W	3500/–25	–30	3,8	–
10 W	3500/–20	–25	4,1	–
15 W	3500/–15	–20	5,6	–
20 W	4500/–10	–15	5,6	–
25 W	6000/–5	–10	9,3	–
20	–	–	5,6	9,3
30	–	–	9,3	12,5
40	–	–	12,5	16,3
50	–	–	16,3	21,9
60	–	–	21,9	26,1

Tabla 3. Grados de viscosidad SAE para aceites de engranajes (SAE J306, octubre 1991)

Grado de viscosidad SAE	Temperatura máxima en °C para la viscosidad dinámica de 150.000 mPa · s	Viscosidad cinemática en mm²/s a 100 °C mín.	máx.
70 W	–55	4,1	–
75 W	–40	4,1	–
80 W	–26	7,0	–
85 W	–12	11,0	–
90 W	–	13,5	24,0
140 W	–	24,0	41,0
250 W	–	41,0	–

Aceites para motores

Los aceites para motores sirven para la lubricación de las piezas de máquinas motrices de combustión que están en movimiento relativo entre sí. Los aceites para motores más usuales son los aceites minerales con aditivos (aceites HD: Heavy Duty para condiciones duras de funcionamiento). A causa de las mayores exigencias a los aceites y los tiempos más largos de cambio de aceite, se utilizan cada vez más aceites sintéticos o parcialmente sintéticos (p.ej. aceites del hidrocracking). La calidad de los aceites depende de su procedencia, de la refinación del aceite base (no corresponde a aceites sintéticos) y de sus aditivos.
Según su misión se distinguen los siguientes tipos de aditivos:
- para mejorar la viscosidad,
- para mejorar el punto de solidificación,
- inhibidores de la oxidación y de la corrosión,
- aditivos detergentes y dispersantes,
- aditivos para altas presiones (aditivos EP),
- friction modifier,
- desespumantes.

En el motor de combustión el aceite es fuertemente solicitado térmica y mecánicamente. Los datos de las características del aceite indican los límites de su uso, pero no especifican su capacidad de rendimiento.

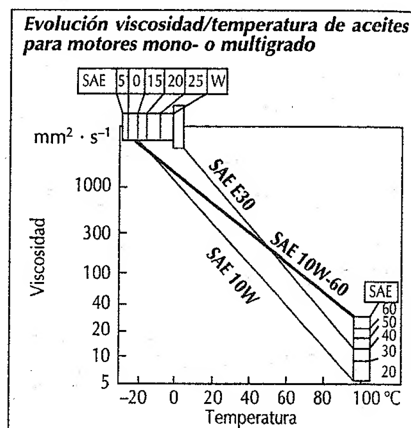
Por ello hay numerosos métodos de comprobación de los aceites para motores (ver indicación comparativa de aceites para motores):
- ACEA (Association des Constructeurs Européens de l'Automobile) o norma CCMC (Commité des Constructeurs d'Automobiles de Marché Commun, hasta 1990 pero hoy todavía válidas).
- Clasificaciones API (American Petroleum Institute)
- Especificaciones MIL (Military). Con excepción de la MIL-L-2104F para vehículos industriales, las especificaciones MIL para el sector civil en Europa carecen hoy de importancia.
- Especificaciones de empresas.

Los criterios para una homologación son entre otros:
- Cenizas de sulfatos, contenido de cinc.
- Tipo de motor (Otto o diesel, de aspiración o sobrealimentación).
- Cargas sobre los componentes del motor y las transmisiones y de cojinetes.
- Efecto protector contra desgaste.
- Temperatura de trabajo del aceite (temperatura de lodos).
- Residuos de la combustión, solicitación química del aceite por resíduos ácidos,
- Capacidad de limpieza y de soporte de suciedades del aceite para motores.
- Compatibilidad con las juntas (que no las ataquen).

Especificaciones ACEA (CCMC)
- G: aceites para motores Otto (Gasoline)
- D: aceites para motores diesel,
- PD: aceites para motores diesel de turismos (Passenger Diesel).

Aceites para motores de turismos
- G4: excede las exigencias según API SF y cumple la mayoría de las exigencias según SG. Exigencias especiales de la protección contra envejecimiento, pérdidas por evaporación, formación de residuos a altas temperaturas, desgaste y protección contra formación de lodos.
- G5: aceite para motores multigrado ligero, de viscosidad 5W–X o 10W–X, de mejor comportamiento que el G4 en cuanto a resistencia al envejecimiento, estabilidad a la cizalladura y también a la formación de lodos.
- PD2: aceites para motores multigrado para motores de pequeño volumen de aspiración o turbodiesel. En el nivel de prestaciones está por encima de CD. Condiciones de comprobación parecidas a D4 (comprobación adicional en el motor turbodiesel de VW).

Evolución viscosidad/temperatura de aceites para motores mono- o multigrado

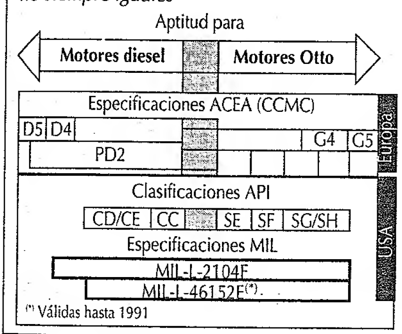


Aceites para motores de vehículos industriales
- D4: los requerimientos API CD y CE son superados. El aceite D4 sirve para los motores diesel de aspiración con condiciones de trabajo duras y los turbodiesel con condiciones normales.
- D5: especifica aceites SHDP (Super High Performance Diesel). Vale para motores diesel europeos de elevada carga y altas revoluciones. No existe una clasificación API comparable. Altos valores límite para la formación de superficies de espejo, limpieza del pistón, desgaste de cilindro y de levas.

Clasificaciones API

Clases S (Service) para motores Otto.
Clases C (Commercial) para motores diesel.
- SE: para motores hasta aprox. 1979,
- SF: para motores de los años 80,
- SG: para motores a partir de 1989 con ensayos más estrictos de lodos y protección mejorada contra oxidación y desgaste.
- SH: desde mediados de 1993 como nivel de calidad API SG, pero con requerimientos más estrictos para la comprobación del aceite.
- CC: aceites para motores diesel de aspiración de carga reducida.
- CD: aceites para motores diesel de aspiración y turbodiesel, reemplazado en 1994 por API CF.
- CE: aceites con prestaciones como CD con ensayos adicionales en motores americanos Mack y Cummins.

Comparación de la caracterización de las prestaciones de los aceites para motores
Las longitudes de las barras indican requerimientos de prestaciones comparables pero no siempre iguales



- CF: reemplaza desde 1994 a la especificación API CD.
- CF-4: como API CE pero con ensayo más estricto en el motor monocilindro turbodiesel de Caterpillar.

Especificaciones MIL
- L-46152 E: válida hasta 1991 para motores de gasolina. Hoy la US-Army utiliza aceites según API SG.
- L-2104 F: requerimientos actuales para aceites de vehículos industriales.

Grados de viscosidad SAE

(DIN 51511, SAE J300, DIN 51512, SAE J306)
Clasificación SAE internacionalmente válida (Society of Automotive Engineers) para designar la viscosidad. No informa sobre la calidad del aceite. Se distingue entre aceites mono- y multigrado. En general hoy en día se han impuesto los aceites multigrado.

La caracterización se efectúa mediante dos series (ver tabla 2), done la letra "W" (Winter) describe determinado comportamiento de fluencia en frío. El grado de viscosidad con la letra "W" se clasifica según la viscosidad máxima de temperatura inferior, la temperatura límite máxima de bombeo y la viscosidad mínima a 100 °C. El grado de viscosidad sin la letra "W" se clasifica solamente según la viscosidad a 100 °C.

Aceites multigrado

Los aceites multigrado son aceites con reducida dependencia de la viscosidad respecto a la temperatura. Reducen el roce y el desgaste, pueden utilizarse durante todo el año y en el arranque en frío proporcionan la lubricación rápida de todos los componentes del motor.

Un buen aceite multigrado cubre varios campos (clases) de viscosidad SAE, p.ej. SAE 10W-60.

Aceites de marcha ligera

Aceites de lubricación con característica multigrado, viscosidad en frío reducida y aditivos especiales reductores del roce. El escaso rozamiento del motor a cualquier velocidad reduce el consumo de carburante.

Aceites para cajas de cambio

La clase de cambio y sus solicitaciones determinan la calidad del aceite. Las solicitaciones (tales como capacidad elevada de absorción de presión, favorable comportamiento viscosidad-temperatura, elevada estabilidad al envejecimiento, escasa tendencia a formar espuma, tolerancia de todos los materiales de las juntas) no pueden cumplirlas los aceites sin aditivos. Los problemas típicos en las cajas de cambio por lubricantes inadecuados o de mala calidad son desgastes de los flancos de los dientes y de los cojinetes.

También la viscosidad tiene que estar adecuada al caso particular de utilización. Para las cajas de cambio de los vehículos se tienen las clases de viscosidad que se dan en la DIN 51512 o SAE J306 (ver tabla 3).

Para requerimientos especiales se usan cada vez más los aceites sintéticos (p.ej. poli-α-olefinas). Estos tienen ventajas en su comportamiento viscosidad/temperatura y, en comparación con los aceites minerales, son más resistentes al envejecimiento.

Clasificación API de los aceites de cajas de cambio

- GL1 a GL3: hoy en día ya no tienen importancia práctica.
- GL4: aceites para engranajes hipoides con poca carga, así como también para engranajes que trabajan a altas velocidades de régimen y esfuerzos por choques o altos números de revoluciones con par de giro bajo o a bajo número de revoluciones con alto par de giro.
- GL5: aceites para engranajes hipoides de altas solicitaciones en turismos y otros vehículos con esfuerzos por choques a altas revoluciones así como también altas revoluciones a bajo par de giro o bajas revoluciones a alto par de giro.

Aceites para cambios automáticos

(ATF: Automatic Transmission Fluid)
El comportamiento del aceite ATF en cambios automáticos es de gran importancia porque, a diferencia de las cajas de cambio manuales, en los cambios automáticos además de la transmisión de fuerza hidrodinámica y la basada en la forma, predomina la transmisión de potencia. Los campos de aplicación se clasifican principalmente por los diferentes comportamientos en el roce:
General Motors:
DEXRON® II E (válido hasta finales de 1994)
DEXRON® III, válido desde 1.1.1994 con mayores exigencias incrementadas respecto a estabilidad a la oxidación y constancia del valor de roce.
Clasificaciones anticuadas: Tipo A, Suffix A, DEXRON®, DEXRON®B, DEXRON® II C, DEXRON® II D.
Ford:
MERCON® (válido desde 1987).
Mercedes-Benz:
Según prescripciones de uso.

Grasas lubricantes

Son aceites lubricantes espesados. Tienen la ventaja frente a los aceites de que no se escurren del lugar del rozamiento. Esto hace que sean superfluas las medidas constructivas complejas de estancamiento (p.ej. utilización en cojinetes de ruedas, en sistemas en movimiento como ABS, alternadores, distribuidores, motores de limpiaparabrisas y motores de engranajes pequeños). La tabla 5 presenta una somera sinopsis de la estructura de los lubricantes consistentes compuestos por tres componentes principales: aceite de base, espesante y aditivo.

Como aceites de base se utilizan normalmente aceites minerales; sin embargo, últimamente son reemplazados cada vez más por aceites plenamente sintéticos (p.ej. a causa de la mayor exigencia de estabilidad al envejecimiento, comportamiento de fluencia a temperaturas bajas, comportamiento de viscosidad/temperatura).

La misión del espesante es ligar el aceite de base. Casi siempre se emplean jabones metálicos que dan al aceite una estructura esponjosa de jabón (micelas) mediante inclusiones y efectos de fuerzas de interacción. Cuanto mayor es la proporción de espesante en la grasa (depende del tipo de espesante), tanto mayor es la consistencia y la clase NLGI (ver tabla 4).

Los aditivos (substancias activas) sirven para la variación exacta de las propiedades físico-químicas de la grasa lubricante hacia una dirección (p.ej. mejora de la estabilidad frente a la oxidación, para aumentar la capacidad de carga [aditivos EP] o para la reducción del desgaste o del roce).

También se añaden a las grasas lubricantes sólidos (p.ej. MoS_2) (p.ej, para la lubricación de los árboles motores articulados de los vehículos).

La elección de una grasa de lubricación especial se efectúa considerando sus propiedades físicas, sus efectos sobre la zona de roce y sus mínimas reacciones con los materiales de contacto.

Ejemplo:
Reacciones con materiales de polímeros:
- formación de grietas por tensiones,
- variación de la solidez,
- degradación del polímero,
- hinchamiento, encogimiento, resquebrajadura.

Así pues, no deben entrar en contacto con elastómeros las grasas de aceites minerales o las grasas con base de hidrocarburos sintéticos que se empleen junto con líquidos para frenos (con base de poliglicoles) (fuerte hinchamiento).

Además deben evitarse mezclas de grasas con estructuras diferentes (variación de las cualidades físicas, licuación de la grasa por reducción del punto de goteo).

En pares con movimientos de roce relativos contrarios se puede aumentar considerablemente el rendimiento de los productos escogiendo las grasas lubricantes apropiadas (p.ej. engranajes, cojinetes de fricción o de rodamientos, sistemas de regulación).

Tabla 4. Clasificación por consistencia de las grasas lubricantes (DIN 51 818)

Clase NLGT	Penetr. en marcha s. DIN ISO 2137 Décim. milím. (0,1 mm)
000	445...475
00	400...430
0	355...385
1	310...340
2	365...395
3	220...250
4	175...205
5	130...160
6	85...150

Tabla 5. Estructura de las grasas lubricantes

Aceites de base

- Aceites minerales
  - parafínicos
  - nafténicos
  - aromáticos
- Aceites sintéticos
  - polimerizaciones de olefinas
  - aromáticos alquídicos
  - ésteres
  - alcoholes
  - éteres
  - siliconas
  - hidrocarburos fluorados
  - éteres fluorados perlados

Espesantes

- Jabones (Li, Na, Ca, Ba, Al)
  - normales
  - hidroxilo
  - complejos
- Espesantes orgánicos (sin jabón)
  - poliureas
  - PTFE (teflon)
  - PE (polietileno)
- Espesantes inorgánicos
  - Bentonita (arcilla)
  - Aerosile (SiO_2)

Aditivos

- para altas presiones
- contra desgaste
- Friction Modifier (reductores de la fricción)
- para mejorar la adherencia
- inhibidores de oxidación
- inhibidores de corrosión
- lubricantes sólidos como disulfito de molibdeno o grafito

Combustibles

Magnitudes características

Potencia calorífica, poder de combustión
La potencia calorífica específica H_u (antiguamente denominada "potencia calorífica inferior"), y el poder de combustión específico H_o (antiguamente denominado "potencia calorífica superior" o "Calor de combustión") son magnitudes que indican el contenido energético de los combustibles. Para los combustibles en los cuales se produce agua como producto de la combustión, sólo tiene importancia la potencia calorífica específica H_u (el agua de la combustión en forma de vapor).
Una potencia calorífica reducida en comparación con los hidrocarburos (p.ej. en el metanol) requiere cantidades mayores de carburante para alcanzar rendimientos comparables en el motor.

Potencia calorífica de la mezcla
La potencia calorífica de la mezcla aire/combustible determina el rendimiento del motor. A una misma relación estequiométrica es casi igual para todos los carburantes líquidos y gaseosos (aprox. 3.500 a 3.700 kJ/m³).

Calor de vaporización
Por medio de la vaporización del combustible, que al principio sólo está nebulizado, la mezcla aire-combustible se enfría. El descenso de temperatura que tiene lugar en el carburador, con clima frío y húmedo (unos + 2 a + 8 °C y humedad de aire > 65 %), puede provocar la congelación de la válvula de estrangulamiento ("congelación del carburador"), que es causa de defectos de marcha.

En combustibles con alto calor de evaporación (p.ej. metanol), el aire frío aspirado no aporta suficiente calor para la evaporación y con ello para la preparación de la mezcla, de manera que son necesarias medidas adicionales (p.ej. precalentamiento del tubo de aspiración).

Combustibles para motores de gasolina

Diferentes normas nacionales e internacionales determinan los requerimientos mínimos de los combustibles para motores de gasolina. La especificación EN228 (Norma europea) describe la gasolina sin plomo introducida en Europa ("Euro-Super"). En la edición alemana DIN EN228 se describen además los carburantes sin plomo normal y "Super Plus". En Alemania vale DIN 51 600 para la gasolina Super con plomo. En los EE.UU. se especifican los carburantes para motores de encendido en ASTM D439 (American Society for Testing Materials). Constan de hidrocarburos que pueden llevar aditivos orgánicos que contengan oxígeno así como también otros para mejorar sus cualidades.

Se diferencia entre carburante normal y super. Este último es más antidetonante y se emplea en motores de mayor relación de compresión. Además rigen diferentes características de volatilidad para las diferentes regiones y para verano e invierno.

Gasolina sin plomo (EN228)

La introducción de catalizadores para el tratamiento de los gases de escape presupone el servicio con gasolina sin plomo. Los catalizadores más activos para este propósito y las sondas lambda para su regulación tienen una capa de metal noble (por ejemplo, platino, rodio), que se estropea con el plomo y se convierte en inactiva.

Los carburantes sin plomo forman una mezcla de componentes de alto valor y de alto octanaje (p.ej. platformings, alquilatos e isomerizados). Como aditivos no metálicos para aumentar la antidetonancia pueden usarse con buen resultado éteres, p.ej. metil ter-butiléter (MTBE) a concentraciones de 3 a 15%, así como mezclas de alcohol (metanol 2 a 3%, alcoholes superiores). El contenido en plomo se limita a un máximo de 13 mg/l.

Gasolina con plomo (DIN 51 600)

Para proteger el medio ambiente se debería utilizar solamente la gasolina con plomo en aquellos motores cuyas válvulas de escape utilizan los productos de la combustión de los alquilatos de plomo para la lubrificación. Esto concierne solo a una pequeña proporcíón de algunos vehículos antiguos. La venta de gasolina con plomo retrocede constantemente. La gasolina "Super Plus" disponible en el mercado tiene la misma antidetonancia que la gasolina con plomo.

Tabla 1. Características importantes de carburantes sin plomo para motores de gasolina, EN 228

Requerimientos	Unidad	Parámetro
Antidetonancia		
Super, mín.	ROZ/MOZ	95/85
Normal, mín[1]	ROZ/MOZ	91/82,5
Super Plus [1]	ROZ/MOZ	98/88
Densidad	kg/m³	725...780
Azufre, máx.	Gew.-%	0,05
Benzol, máx.	Vol.-%	5
Plomo, máx.	mg/l	13
Volatilidad[1]		
presión vapor seg. Reid, en verano, mín./máx.	kPa	35/70
presión vapor seg. Reid, en invierno, mín./máx.	kPa	55/90
cant. evaporada a 70 °C, en verano, mín./máx.	Vol.-%	15/45
cant. evaporada a 100 °C, en verano, mín./máx.	Vol.-%	40/65
cant. evaporada a 180 °C, en verano, mín./máx.	Vol.-%	85/–
cant. evaporada a 70 °C, en invierno, mín./máx.	Vol.-%	15/47
cant. evaporada a 100 °C, en invierno, mín./máx.	Vol.-%	43/70
cant. evaporada a 180 °C, en invierno, mín./máx.	Vol.-%	85/–
Punto destilación final, máx.	°C	215
VLI verano, máx.		950
VLI invierno, máx.		1150

[1] Valores nacionales alemanes

La cantidad máxima admitida de plomo en la gasolina con plomo es de 0,15 g/l en casi todos los países de Europa.

Densidad (DIN 51 757)
El intervalo admitido de densidades para carburantes está limitado por EN 228 entre 725 y 780 kg/m³. Los carburantes Super tienen más densidad que los normales a causa del mayor contenido de aromáticos y por ello también más potencia calorífica inferior.

Antidetonancia (Índice de octanos)
El índice de octanos caracteriza la resistencia al picado de un combustible para motor de gasolina. Cuanto mayor es el índice de octanos, más resistente al picado es el combustible. Para su deerminación se utilizan internacionalmente dos procedimientos diferentes: el índice de octanos investigado (RON) y el índice de octanos motor (MON) (DIN 51 756; ASTM D 2699 y ASTM D 2700).

RON, MON
RON (índice de octanos Research). Se llama RON (Research Octane Number) al índice de octanos investigado. Puede considerarse como indicativo para el picado en la aceleración.

MON (Motor Octane Number). Se llama así al índice de octanos motor. Describe principalmente las características en relación al picado a altas velocidades.

El método motor se diferencia del investigado por el precalentamiento de la mezcla, mayor número de revoluciones y diferente ajuste del punto de encendido, con lo que se le da mayor solicitación térmica al combustible analizado. Los índices MON son inferiores a los RON.

El índice octanos hasta 100 indica el porcentaje de volumen de isooctano C_8H_{18} (trimetilpentano) contenido en una mezcla con n-heptano C_7H_{16} la cual muestra la misma tendencia al picado en un motor de comprobación que el carburante que se analiza. Al isooctano con muy altas cualidades de antidetonancia se le asigna el número 100 de MON o RON, mientras que al n-heptano con máxima tendencia al picado se le da el 0.

Incremento de la antidetonancia

La gasolina normal es muy poco antidetonante. Sólo se puede conseguir un combustible con suficiente índice de octanos, mezclándolo en la refinaría con componentes resistentes al picado. Para ello hay que procurar tener el nivel de índice de octanos más alto posible en todo el campo de temperaturas de ebullición. Los hidrocarburos con estructura molecular en forma de anillo (aromáticos) y con cadenas ramificadas (isoparafinas) son más resistentes al picado que los de moléculas de cadena lineal (n-parafinas).

Las adiciones de compuestos de oxígeno (metanol, etanol, metilbutil éter terciario), actúan positivamente sobre el índice de octanos, pero pueden conducir a otras dificultades (los alcoholes elevan la volatilidad y pueden crear problemas en los materiales). Ver también "amortiguación del picado".

Amortiguación del picado

Las substancias antidetonantes más eficaces son compuestos orgánicos de plomo (tetraetilo de plomo y tetrametilo de plomo) que, según la estructura del hidrocarburo, pueden aumentar el índice de octanos en algunos puntos. Según la norma DIN 51 600 se admite hasta un máximo de 0,15 g de plomo por litro de carburante. Dado el número creciente de vehículos con catalizador y para la protección del medio ambiente se utilizan cada vez menos los alquilatos de plomo.

La sustitución de los alquilatos de plomo por otros aditivos con contenido metálico no están permitidos en Alemania.

Volatilidad

Para garantizar un buen funcionamiento, las características de volatilidad de los carburantes para motores de gasolina deben cumplir altos requerimientos. Por un lado deben contener una gran proporción de componentes fácilmente volátiles para garantizar un arranque en frío seguro. Por otro lado no deben ser demasiado volátiles para no provocar problemas a temperaturas altas en los arranques en caliente ni problemas de marcha (bloqueo de vapor).

Además, para proteger el medio ambiente, las evaporaciones deben mantenerse a un mínimo. Hay diferentes valores indicativos para describir la volatilidad.

En la especificación EN 228 figuran 8 clases diferentes de volatilidad, las cuales se diferencian en presión de vapor, transcurso de ebullición y el índice de bolsa de vapor VLI (Vapour-Lock-Index). Las distintas naciones pueden adoptar en sus normas particulares algunas de estas clases según las condiciones climáticas.

Transcurso de ebullición

Para el comportamiento en el motor son importantes tres zonas de la curva de ebullición que se caracterizan por la fracción evaporada a tres temperaturas. El volumen evaporado hasta 70 °C debe ser grande para arrancar fácilmente el motor en frío, pero no demasiado grande para evitar burbujas de vapor con el motor caliente. La fracción de combustible evaporada hasta los 100 °C determina, además del comportamiento en caliente, ante todo la disponibilidad de servicio y reacción a las aceleraciones de los motores calientes. El volumen evaporado hasta los 180 °C no debe ser demasiado pequeño para evitar que el aceite lubricante quede demasiado diluido, especialmente con el motor frío.

Presión de vapor

La presión de vapor de los carburantes, medida a 38 °C (100 °F) antes que nada es una magnitud característica de seguridad para su almacenamiento en el depósito del vehículo. Esta presión de vapor se limita en todas las especificaciones, p.ej. en Alemania en verano es hasta un máx. de 70 kPa y en invierno de 90 kPa. Sin embargo, para describir defectos de funcionamiento a consecuencia de burbujas de gas en los motores modernos de inyección es más importante conocer la presión de vapor a temperaturas más elevadas (de 80 °C a 100 °C). Para ello se están desarrollando métodos de determinación y está en preparación una norma.

Especialmente la adición de metanol al combustible aumenta considerablemente la presión de vapor a temperaturas elevadas.

Proporción vapor-líquido

Esta magnitud es indicativa de la tendencia de un combustible a la formación de burbujas. Es el volumen de vapor producido por una unidad de carburante a una contrapresión definida y a una temperatura determinada.

Si baja la contrapresión (p.ej. en rutas de montaña) y sube la temperatura, entonces aumenta la proporción vapor-líquido, lo cual lleva a mayores defectos de funcionamiento. En la ASTM D439, p.ej., se especifica una relación entre vapor y líquido como requerimiento de los carburantes para motores de gasolina.

Índice de bolsa de vapor (Vapour-Lock-Index, VLI)

Esta magnitud característica, introducida hace poco, es la suma determinada por cálculo de la presión de vapor según Reid (en hPa) y de siete veces la cantidad evaporada de carburante (a lo largo del transcurso de ebullición) a 70 °C, en valores absolutos, respectivamente. El VLI describe mejor las características del carburante, en cuanto al comportamiento de arranque en caliente y de marcha en caliente, que otras magnitudes convencionales.

Aditivos

Los aditivos determinan, junto a la composición de los hidrocarburos (componentes de la refinación), la calidad de los carburantes. En su composición entran substancias con diferentes efectos.

Los aditivos deben estar muy bien comprobados y ajustados entre sí y no deben tener efectos secundarios negativos. Por ello tiene sentido que sean dosificados y mezclados por el fabricante del carburante que con marcas específicas los transportan camiones cisterna de la refinería. La posterior adición de aditivos en el depósito del vehículo por parte del usuario debería evitarse.

Protección contra el envejecimiento

Los productos protectores contra el envejecimiento adicionados al carburante aumentan su estabilidad en almacenamiento, en especial los productos del craqueo. Evitan la oxidación por el oxígeno del aire e imposibilitan la acción catalítica de los iones metálicos (desactivadores metálicos).

Limpieza del sistema de admisión

El mantener limpio todo el sistema de admisión (carburador, válvula de estrangulamiento, válvulas de inyección, válvulas de admisión) es la condición previa para mantener el ajuste de mezcla y de preparación óptimos en la condición de estado nuevo y con ello el funcionamiento sin interferencias y la minimización de los contaminantes en los gases de escape. Por este motivo el carburante debería llevar aditivos de limpieza eficaces (aditivos "detergentes").

Protección contra la corrosión

La introducción de agua "por arrastre" puede corroer el sistema de combustible. Los aditivos contra corrosión pueden evitarla de forma muy eficaz creando una capa protectora por debajo de la película de agua.

Protección contra la congelación

Aditivos apropiados deben evitar la congelación de la válvula de estrangulamiento (congelación del agua contenida en el aire de la aspiración). Los alcoholes, por ejemplo disuelven los cristales de hielo, mientras que otros aditivos dificultan su formación en la válvula. Sólo tienen importancia en vehículos con carburador o con sistema de inyección.

Carburantes respetuosos del medio ambiente para motores de gasolina

De forma creciente se exigen o piden carburantes que respeten el medio ambiente ("gasolina ecológica", "reformulated gasoline") en regiones castigadas por contaminantes, en especial en ciudades con alta densidad de tráfico. Para ello se exigen p.ej. valores reducidos de presión de vapor, bajos contenidos de aromáticos, benzol y azufre, y también especificaciones especiales del punto de destilación final. La inclusión de aditivos para mantener limpio el sistema de admisión es obligatorio para dichos carburantes en E.UU.

Carburantes diesel

Los carburantes diesel se componen de gran número de diferentes hidrocarburos, cuyo punto de ebullición está entre 180 y 370 °C. Se obtienen por destilación fraccionada del aceite crudo. Las refinerías añaden cada vez más a los carburantes diesel productos de conversión (componentes de craqueo), obtenidos por fisión de las moléculas de aceites pesados. Los requisitos que han de cumplir los combus-

tibles diesel en Europa vienen fijados en los anexos II y IV aprobados por el Consejo de la CEE el 7/10/97. Las magnitudes características más importantes son enumeradas en la tabla 2.

Facilidad de encendido, número de cetanos

Puesto que el motor diesel logra la combustión por compresión, el carburante debe encenderse por sí solo cuando se inyecta en el aire comprimido y caliente de la cámara de combustión y con el mínimo tiempo de retraso posible (retraso de encendido).

La facilidad de encendido es la cualidad de un carburante de inducir el autoencendido en un motor diesel. El número de cetanos (NC) expresa la disposición al encendido. Es tanto más elevado cuanto más fácilmente se enciende el carburante. Se da el número 100 al n-hexadecano (cetano), que es de muy fácil encendido. A la metilnaftalina, que se comporta con retraso de encendido se le asigna el 0. El número de cetanos se mide en un motor de pruebas.

Para el funcionamiento óptimo de los motores modernos (suavidad de marcha, reducción de contaminantes) hacen falta combustibles con números de cetanos mayor que 50. Los combustibles diesel de calidad contienen una alta proporción de parafinas con altos NC. Por el contrario, los aromáticos que se encuentran en los componentes de craqueo dificultan el encendido.

Otra magnitud característica de la facilidad de encendido es el índice de cetano, que se calcula mediante la densidad y los puntos de la línea característica de ebullición. A diferencia de lo que sucede en la medición del número de cetanos, no tiene en cuenta la influencia de productos que mejoran el encendido.

Comportamiento en frío, filtrabilidad

A temperaturas bajas se puede obstruir el filtro del combustible a causa de la separación de cristales de parafina e interrumpirse así la alimentación. La aparición de los cristales de parafina puede comenzar en casos desfavorables ya a 0 °C. Por ello los carburantes diesel de invierno deben ser seleccionados o preparados especialmente para garantizar un funcionamiento impecable en la época fría. Por regla general reciben en la refinería la adición de productos que mejoran las cualidades de fluencia, que a pesar de no impedir la separación de las parafinas, limitan mucho el desarrollo de los cristales. Los cristales que así se forman son tan pequeños que pasan por los poros del filtro.

La adición de otros aditivos puede hacer que esos cristales se mantengan en suspensión, con lo cual aún desciende más el límite de filtrabilidad.

La resistencia al frío se mide mediante un procedimiento normalizado para la determinación del "valor límite de la filtrabilidad" ("CFFP, Cold Filter Plugging Point"). En la EN 590 este valor se fija en diferentes clases, las cuales pueden ser utilizadas por los diferentes países según las condiciones climáticas (p.ej. verano, invierno).

Para mejorar la resistencia al frío, anteriormente se le solía agregar al carburante diesel petróleo o gasolina normal. Esto hoy en día con los carburantes normalizados ya no es necesario.

Punto de inflamación

Como punto de inflamación se entiende la temperatura a la cual un líquido inflamable cede la cantidad suficiente de vapor al aire circundante para que una fuente de encendido puede inflamar la mezcla de aire/vapor. Por razones de seguridad (transporte, almacenamiento) el carburante diesel debe pertenecer a la clase de peligrosidad A III, es decir, tener su punto de inflamación por encima de 55 °C. La adición de menos de un 3% de gasolina al combustible diesel rebaja tanto el punto de inflamación de éste, que puede llegar incluso a inflamarse a temperatura ambiente.

Zona de ebullición

La posición de la zona de ebullición influye en las cualidades importantes del carburante diesel que afectan a su comportamiento funcional. La ampliación de la zona hacia temperaturas inferiores lleva a un carburante apropiado para el frío, pero con ello baja su número de cetanos. Ante todo empeoran sus cualidades lubrificantes, que aumentan el peligro de desgaste de los dispositivos de inyección. Si por otro lado se eleva la temperatura del punto final de destilación, lo cual sería deseable para un mejor aprovechamiento del crudo, se puede incrementar la formación de hollín y la coquización de las toberas (deposición de residuos de combustión).

Densidad

El poder calorífico del carburante diesel depende en una buena medida de su densidad; se incrementa a densidad creciente. Si a ajuste constante de la bomba de inyección – aporte de volumen constante – se utilizan carburantes de distintas densidades, varía la mezcla a causa de las variaciones del poder calorífico y con ello a densidades altas hay mayores emisiones de hollín y a densidades bajas reducción de la potencia.

Viscosidad

Una lubricación hidrodinámica correcta de los dispositivos de inyección exige una viscosidad suficiente de los carburantes diesel. Sin embargo, una viscosidad excesiva puede llevar a la formación de un chorro deficiente.

Azufre

Dependiendo de la calidad del crudo y de los componentes que se añadan a su mezcla, los carburantes diesel contienen azufre combinado (unido químicamente). En especial los componentes de craqueo tienen casi siempre altos contenidos de azufre, que se rebajan en la refinería mediante hidrógeno (hidrogenación).

Debido a que la combustión en el motor origina la transformación del azufre en dióxido de azufre (SO_2), el cual por su reacción ácida es perjudicial para el medio ambiente, la legislación ha limitado el contenido máximo de azufre. En Europa, en los últimos años ha sido rebajado escalonadamente y a partir de 1997 sólo puede llegar a un máx. de 350 ppm. De este modo se reduce además la masa de las partículas emitidas por el postratamiento catalítico de los gases de escape condicionadas a la deposición de sulfato.

Tendencia a la coquización

(Residuos de coque)

El coque residual es una medida indicativa de la tendencia de los carburantes a formar coque en las toberas de los inyectores. Los procesos de la coquización son complejos y no se pueden describir de forma breve.

Los componentes que contiene el carburante diesel al final del proceso de la destilación influyen notablemente en la coquización.

Aditivos

También en los carburantes diesel se ha impuesto la inclusión de aditivos para mejorar la calidad.

En la mayor parte de los casos se utilizan conjuntos de aditivos con efectos múltiples. La concentración total de los aditivos normalmente no excede el 0,1%, por lo cual no varían las magnitudes características de los carburantes, como son la densidad, la viscosidad y la zona de ebullición.

Correctores de fluencia

Los correctores de fluencia constan de substancias poliméricas que generalmente sólo se adicionan en invierno (ver comportamiento en frío).

Correctores del encendido (cetane improver)

Los correctores del encendido son ésteres del ácido nítrico de alcoholes, que influyen favorablemente en la combustión del carburante diesel en cuanto a la emisión de ruidos y de partículas.

Aditivos de limpieza

Los aditivos de limpieza deben:

- garantizar la limpieza en el sistema de admisión para la mejor preparación de la mezcla y
- reducir o evitar la coquización de las toberas de inyección.

Inhibidores de la corrosión

Los inhibidores de la corrosión evitan la corrosión de las piezas de metal en el caso de arrastre de agua en el sistema de combustible.

Inhibidores de espuma

Los inhibidores de espuma facilitan el proceso de llenado del depósito de combustible.

Valores de combustibles e hidrocarburos líquidos

Substancia		Densidad kg/l	Componentes principales % en peso	Temperatura ebullición °C	Calor específ. evaporac. kJ/kg[1]	Potencia calorif. específ. MJ/kg[1]	Temp. encendido °C	Neces. aire, teór. kg/kg	Límite encendido inferior (% de vol. de gas en aire)	Límite encendido superior (% de vol. de gas en aire)
Gasolina										
Normal		0,715…0,765	86 C, 14 H	25…215	380…500	42,7	≈ 300	14,8	≈ 0,6	≈ 8
Super		0,730…0,780	86 C, 14 H	25…215	–	43,5	≈ 400	14,7	–	–
Gasolina aviación		0,720	85 C, 15 H	40…180	–	43,5	≈ 500	–	≈ 0,7	≈ 8
Queroseno		0,77…0,83	87 C, 13 H	170…260	–	43	≈ 250	14,5	≈ 0,6	≈ 7,5
Combustible diesel		0,815…0,855	86 C, 13 H	180…360	≈ 250	42,5	≈ 250	14,5	≈ 0,6	≈ 7,5
Petróleo (petróleo crudo)		0,70…1,0	80…83 C, 10…14 H	25…360	222…352	39,8…46,1	≈ 220	–	≈ 0,6	≈ 6,5
Ac. alquitrán de lignito		0,850…0,90	84 C, 11 H	200…360	–	40,2…41,9	–	13,5	–	–
Ac. alquitrán de hulla		1,0…1,10	89 C, 7 H	170…330	–	36,4…38,5	–	–	–	–
Pentano	C_5H_{12}	0,63	83 C, 17 H	39	352	45,4	285	15,4	1,4	7,8
Hexano	C_6H_{14}	0,66	84 C, 16 H	69	331	44,7	240	15,2	1,2	7,4
n-Heptano	C_7H_{16}	0,68	84 C, 16 H	98	310	44,4	220	15,2	1,1	6,7
iso-Octano	C_8H_{18}	0,69	84 C, 16 H	99	297	44,6	410	15,2	1	6
Benceno	C_6H_6	0,88	92 C, 8 H	80	394	40,2	550	13,3	1,2	8
Tolueno	C_7H_8	0,87	91 C, 9 H	110	364	40,6	530	13,4	1,2	7
Xileno	C_8H_{11}	0,88	91 C, 9 H	144	339	40,6	460	13,7	1	7,6
Éter	$(C_2H_5)_2O$	0,72	64 C, 14 H, 22 O	35	377	34,3	170	7,7	1,7	36
Acetona	$(CH_3)_2CO$	0,79	62 C, 10 C, 28 O	56	523	28,5	540	9,4	2,5	13
Etanol	C_2H_5OH	0,79	52 C, 13 H, 35 O	78	904	26,8	420	9	3,5	15
Metanol	CH_3OH	0,79	38 C, 12 H, 50 O	65	1110	19,7	450	6,4	5,5	26

Viscosidad a 20°C en mm^2/s (= cSt, página 34); gasolina ≈ 0,6; combustible Diesel ≈ 4; etanol ≈ 1,5; metanol ≈ 0,75.

(1) Valores por l = valores por kg × densidad en kg/l. Tablas de conversión, páginas 30 a 32

Valores de combustibles e hidrocarburos líquidos

Substancia		Densidad a 0 °C y 1013 mbar kg/m³	Componentes principales % en peso	Temperatura ebullición a 1013 mbar °C	Potencia calorífica Combustible MJ/kg[1]	Potencia calorífica Mezcla aire-comb. MJ/kg[1]	Temp. encendido °C	Neces. aire, teór. kg/kg	Límite encendido inferior (% de vol. de gas en aire)	Límite encendido superior (% de vol. de gas en aire)
Gas licuado		2,25[2]	C_3H_8, C_4H_{10}	−30	46,1	3,39	≈ 400	15,5	1,5	15
Gas ciudad		0,56…0,61	50 H, 8 CO, 30 CH_4	−210	≈ 30	≈ 3,25	≈ 560	10	4	40
Gas natural		≈ 0,83	76 C, 24 H	−162	47,7	–	–	–	–	–
Gas de agua		0,71	50 H, 38 CO	–	15,1	3,10	≈600	4,3	6	72
Gas de alto horno		1,28	28 CO, 59 N, 12 CO_2	−170	3,20	1,88	≈600	0,75	≈30	≈75
Gas de cloaca[3]		–	46 CH_4, 54 CO_2	–	27,2[3]	3,22	–	–	–	–
Hidrógeno	H_2	0,090	100 H	−253	120,0	2,97	560	34	4	77
Óx. carbono	CO	1,25	100 CO	−191	10,05	3,48	605	2,5	12,5	75
Metano	CH_4	0,72	75 C, 25 H	−162	50,0	3,22	650	17,2	5	15
Acetileno	C_2H_2	1,17	93 C, 7 H	−81	48,1	4,38	305	13,25	1,5	80
Etano	C_2H_6	1,36	80 C, 20 H	−88	47,5	–	515	17,3	3	14
Eteno	C_2H_4	1,26	86 C, 14 H	−102	14,1	–	425	14,7	2,75	34
Propano	C_3H_8	2,0[2]	82 C, 18 H	−43	46,3	3,35	470	15,6	1,9	9,5
Propeno	C_3H_6	1,92	86 C, 14 H	−47	45,8	–	450	14,7	2	11
Butano	C_4H_{10}	2,7[2]	83 C, 17 H	−10; +1[4]	45,6	3,39	356	15,4	1,5	8,5
Buteno	C_4H_8	2,5	86 C, 14 H	−5; +1[4]	45,2	–	–	14,8	1,7	9

(1) Valores por cada m^3 = valores por kg/m^3. Tablas de conversión, ver páginas 30 a 32.
(2) Densidad del gas licuado, 0,54 kg/l, densidad del propano líquido 0,51 kg/l, densidad del butano líquido 0,58 kg/l.
(3) El gas de cloaca purificado contiene un 95% de CH_4 (metano) y tiene una potencia calorífica de 37,7 MJ/kg.
(4) Valor primero para iso-buteno, segundo para n-butano o buteno.

Tabla 2. Propiedades importantes de los carburantes diesel, EN 590

Requerimientos	Unidad	Magnitud característica
Punto de inflamación, mín	°C	55
Agua, máx.	mg/kg	200
Contenido azufre, máx.	Gew.-%	0,2[1]
Para clima moderado		
Densidad (a 15 °C), mín./máx.	kg/m³	820/860
Viscosidad (a 40 °C), mín./máx.	mm²/s	2/4,5
Número de cetanos, mín.	–	49
Indice de cetano, mín.	–	46
destilado hasta 250 °C, máx.	Vol.-%	65
destilado hasta 350 °C, mín.	Vol.-%	85
destilado hasta 370 °C, mín.	Vol.-%	95
CFFP[2] en 6 clases de A a F, máx.	°C	+5...–20
Para clima ártico (en 5 clases, de 0 a 5)		
Densidad (a 15 °C), mín./máx.	kg/m³	800/845...800/840
Viscosidad (a 40 °C), mín./máx.	mm²/s	1,5/4...1,24
Número de cetanos, mín.	–	47...45
Indice de cetano, mín.	–	46...43
destilado hasta 180 °C, máx.	Vol.-%	10
destilado hasta 340 °C, mín.	Vol.-%	95
CFFP[2], máx.	°C	–20...–44

[1] A partir del 1.10.96 máx. 0,05 % de peso, según directiva 93/12/CEE. [2] Límite de filtrabilidad.

Carburantes diesel respetuosos con el medioambiente

En algunos países (Suecia, California) se promueven mediante incentivos fiscales la utilización de carburantes "respetuosos con el medioambiente" para reducir las materias contaminantes. En ellos se ha bajado el punto final de destilación y el contenido de hidrocarburos cíclicos aromáticos y prácticamente eliminado el azufre. Al introducirse estos carburantes surgieron en algunos casos problema muy notables de desgaste en los dispositivos de inyección y de ataque en los materiales elastómeros. Para evitar este tipo de daños son necesarios aditivos especiales.

Carburantes alternativos

Licuación del carbón

Las substancias de partida son por lo general carbón y coque; se convierten primeramente en gas de agua (gas de síntesis) (H_2 + CO) que a continuación se transforma catalíticamente en hidrocarburos. De esta forma se puede obtener gasolina y combustibles diesel. Los subproductos son gas licuado y parafina. La síntesis de Fischer-Tropsch ha adquirido importancia especialmente en Sudáfrica, donde se construyeron grandes instalaciones industriales según este procedimiento.

Gas licuado

Esta mezcla, cuyos componentes principales son propano y butano, también denominada LPG (Liquified Petroleum Gas) (gas de petróleo licuado), se utiliza en poca proporción para el funcionamiento de vehículos. Está presente en la extracción de crudos y en los procesos de las refinerías; se licua por presión (LPG) (20 bar) y se caracteriza por su elevado índice de octano (RON >100).

CNG (Gas natural comprimido)
Se trata principalmente de metano comprimido que deja sorprendentemente pocos restos contaminantes en su combustión en el motor. Además, por su elevada relación H/C (en relación con los otros combustibles), desprende al arder menos CO_2.

A modo de ensayo se aplica tanto a motores de gasolina como diesel. Para funcionar con este combustible alternativo, los vehículos tienen que adaptarse especialmente.

Alcoholes

Como carburante alternativo para los motores de gasolina se han examinado, e incluso aplicado, sobre todo el metanol y el etanol, así como también productos derivados de los mismos (por ejemplo, el éter). El metanol puede obtenerse a partir de materias primas existentes ricas en carbono tales como carbón, gas natural, aceites pesados, etc. El etanol, en algunos países (como Brasil), se puede obtener de biomasa y emplear como carburante.

Las mezclas de carburantes con una pequeña parte en volumen de metanol son corrientes en el mercado; los carburantes con un contenido superior (15 a 95%) se están ensayando en pruebas a gran escala.

Tanto con esas mezclas como en el alcohol puro existen problemas concretos que todavía no están resueltos en su totalidad. El comportamiento frente a la humedad, la tolerancia del material, la potencia calorífica y otras propiedades distintas de las de los combustibles tradicionales hacen que sean necesarios algunos cambios específicos o ajustes en los vehículos.

El CNG, el gas licuado y los alcoholes no sólo se han examinado profundamente como carburantes de reemplazo de los hidrocarburos líquidos, sino también en cuanto a su comportamiento más favorable con respecto a emisiones contaminantes.

Aceites y ésteres metílicos vegetales

Junto al aprovechamiento de superficies agrícolas como fuentes de energía renovables se analiza y ensaya el empleo de aceites vegetales para la combustión en motores diesel. Con aceites vegetales puros surgen problemas de envergadura, en especial por la mucha coquización que se forma en los inyectores. Estos problemas no aparecen en los aceites esterificados con metanol (p.ej. éster metílico de aceite vegetal [PME] o éster metílico de aceite de colza [RME]. Los PME no son rentables en comparación con los carburantes convencionales y su utilización tiene que estar subvencionada.

Substancias de servicio

Líquido de frenos

El líquido de frenos sirve de medio hidráulico para la transmisión de fuerza en los sistemas de frenos. Tiene que cumplir unos requisitos muy altos para una función segura de frenado. Los líquidos de frenos se clasifican por sus características según distintas normas, muy similares entre sí en el contenido (SAE J1703, FMVSS 116, ISO 4925). Las características descritas en la FMVSS 116 han obtenido fuerza de ley en los EE.UU. y se consideran válidas mundialmente. El Department of Transportation (DOT) ha definido diferentes clases de calidades en referencia a las propiedades más importantes (tabla 1).

Requisitos

Punto de ebullición de equilibrio
El punto de ebullición de equilibrio es una medida para la capacidad de carga del líquido de frenos. La carga puede ser especialmente alta en los cilindros de freno en las ruedas (con las más altas temperaturas del sistema de frenos). A temperaturas superiores a la del punto real de ebullición del líquido de frenos se forman burbujas de vapor. El accionamiento de los frenos entonces ya no es posible.

Punto húmedo de ebullición
El punto húmedo de ebullición es el punto de ebullición de equilibrio del líquido de frenos, después de que éste haya absorbido agua (aprox. 3,5%) en condiciones definidas. En especial, en líquidos higroscópicos (a base de glicoles) resulta entonces un fuerte descenso del punto de ebullición. La comprobación del punto húmedo de ebullición debe describir las propiedades del líquido de frenos usado, el cual puede absorber agua principalmente por difusión a través de los tubos del sistema de frenos. Éste es el principal efecto por el que es necesario cambiar el líquido de frenos en el vehículo cada 1 o 2 años. En la figura se representa como ejemplo el descenso del punto de ebullición para dos líquidos diferentes de frenos al absorber agua.

Tabla 1. Líquidos de frenos

Comprobación según	FMVSS 116			SAE J1703
Requisitos/Nivel	DOT3	DOT4	DOT5	11. 1983
Punto de ebullición en seco en °C (mín.)	205	230	260	205
Punto de ebullición en húmedo en °C (mín.)	140	155	180	140
Viscosidad en frío a –40 °C en mm²/s	1500	1800	900	1800

Viscosidad

La influencia de la temperatura sobre la viscosidad debería ser la menor posible para poder garantizar un funcionamiento seguro de los frenos a lo largo del amplio intervalo de utilización. En especial, en instalaciones ABS una viscosidad lo más baja posible es ventajosa a temperaturas bajas.

Compresibilidad

La compresibilidad debería ser reducida y mínimamente dependiente de la temperatura.

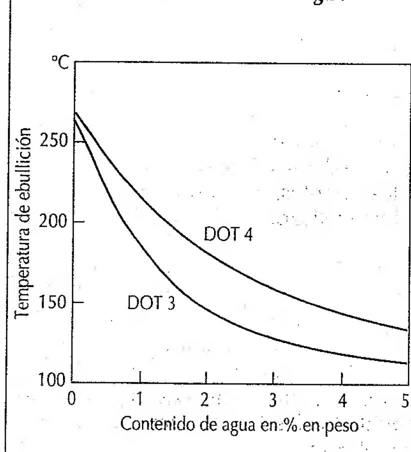
Protección contra la corrosión

Según la FMVSS 116 los líquidos de frenos no deben tener efectos corrosivos sobre los metales usuales en instalaciones de frenos. Solamente el uso de aditivos garantiza la protección contra la corrosión.

Hinchamiento de elastómeros

Todo líquido de frenos tiene que ser compatible con los elastómeros empleados en el sistema de frenos. Es conveniente que se hinchen un poco los elastómeros, pero no más que un 10%, puesto que en ese caso disminuye la resistencia de estos componentes. En caso de ensuciamiento de un líquido de frenos de glicol con una pequeña proporción de aceite mineral (p.ej. aceite disolvente de líquido de frenos), se pueden estropear componentes de goma (como las juntas), lo cual a su vez puede provocar el fallo de los frenos.

Temperatura de ebullición de líquidos de frenos en función del contenido de agua



Composición química

Líquidos de éteres de glicol

Los éteres de glicol son los líquidos de frenos más usados. Se trata principalmente de monoéter de glicoles bajos de polietileno. Con estos componentes se obtienen líquidos de frenos que cumplen los requisitos de DOT3. Su desventaja es que debido a sus propiedades higroscópicas absorben agua de forma relativamente rápida y baja su punto de ebullición.

Si los grupos OH de estos éteres de glicol son esterificados parcialmente o mayoritariamente con ácido bórico, se forman componentes para la fabricación de líquidos sustancialmente mejores, del tipo DOT4 (o "DOT4+", "Super-DOT4"). Debido a la capacidad de reacción con el agua, neutralizan el efecto de la humedad y el punto de ebullición desciende de forma notablemente más lenta y aumenta así la vida útil.

Líquidos de aceites minerales (ISO 7308)

Los líquidos de aceites minerales tienen la gran ventaja de no ser higroscópicos y por ello no varían su punto de ebullición al no absorber agua. Los productos de aceite mineral o sintéticos deben ser cuidadosamente escogidos. Generalmente se adicionan correctores del índice de viscosidad para lograr un comportamiento favorable de viscosidad/temperatura.

La industria del petróleo puede proporcionar una gran variedad de aditivos para mejorar otras propiedades de los líquidos de freno. Para no atacar a los correspondientes elastómeros, en ningún caso deben ponerse líquidos de aceites minerales en instalaciones de frenos diseñadas para éter de glicol (o al revés).

Líquidos de siliconas (SAE J1705)

En el pasado se empleaban aceites de silicona como líquidos de frenos porque al igual que los aceites minerales no absorben agua. Las desventajas de estos productos son la compresibilidad claramente mayor y las propiedades lubricantes claramente inferiores, por lo cual son menos apropiados para muchas instalaciones.

La absorción de agua líquida libre es crítica en líquidos de aceite mineral y de siliconas, porque a temperaturas de 100 °C produce burbujas de vapor y se congela a temperaturas inferiores a 0 °C.

Líquidos de radiador

Requisitos

El calor que se produce por la combustión y que el motor no puede transformar en energía mecánica tiene que ser evacuado mediante el sistema de refrigeración del motor. Esto se realiza a través de un circuito de refrigeración con líquidos, el cual cede al aire en un intercambiador de calor (radiador) el calor absorbido en la culata. El líquido empleado está expuesto a una alta solicitación térmica; además no debe atacar (corroer) a los materiales empleados en el sistema de refrigeración.

Por su alto calor específico y el consiguiente alto poder de absorción de calor, el agua es un buen líquido refrigerante.

Las desventajas son:

- sus propiedades corrosivas, así como también
- la deficiente aptitud al frío (congelación).

Por ello hay que agregarle al agua unos aditivos.

Tabla 2. Puntos de copos de hielo y de ebullición para algunas mezclas de glicol y agua

Glicol % en volumen	Punto de copos de hielo °C	Punto de ebullición °C
10	–4	101
20	–9	102
30	–17	104
40	–26	106
50	–39	108

Anticongelante

Para bajar el punto de congelación se mezcla el agua del radiador con glicol de etileno ("glicol"). Las mezclas de agua y glicol ya no se congelan a temperaturas discretas, sino que más bien comienza la aparición de cristales de hielo en el líquido en el "punto de copos de hielo". A esta temperatura, sin embargo, todavía se puede bombear el líquido a través del sistema de refrigeración. Adicionalmente se incrementa el punto de ebullición (ver Tabla 2).

Generalmente los fabricantes de automóviles indican en los manuales del usuario varios tipos de mezclas aptos para diferentes niveles de protección frente a temperaturas bajas.

Aditivos

El líquido refrigerante debe contener aditivos eficaces para proteger el glicol de su oxidación (en tal caso se forman productos muy corrosivos) y a los metales empleados en el radiador de su oxidación.

Aditivos usuales son:

- inhibidores de corrosión: silicatos, nitratos, nitritos, molibdenatos, derivados del benzotiazol
- tampones: boratos,
- bloqueadores de espuma: siliconas.

Algunos de estos aditivos pueden envejecer por el uso, disminuyendo la calidad del líquido refrigerante. Por ello los fabricantes de automóviles exigen una alta estabilidad a los líquidos refrigerantes que homologan.

Denominación de productos químicos

Denominación industrial de Español	Alemán	Inglés	Francés	Denominación química	Fórmula química
Aceite de vitriolo	Oleum (vitriolöl)	Oleum	Oléum	Ácido sulfúrico	$C_5H_{11}OH$
				Mezcla de ácido disulfúrico	
Acetato de alúmina	Tonerde, essigsaure	Aluminium acetate	Acétate d'alumine	Disolución acuosa de acetato de aluminio	$(CH_3COO)_3Al$
Acetato de carbitol	Carbitolacetat®[1]	Carbitol acetate™		Dietilen-glicol-etil-éter-acetato	$CH_3COOCH_2CH_2OCH_2CH_2OC_2H_5$
Acetato de Cellosolve	Cellosolveacetat®[1]	Cellosolve™ acetate		Etilen-glicol-etil-éter-acetato	$CH_3COOCH_2CH_2OC_2H_5$
Acetato etílico	Essigester (Essigäther)	Acetic ether; vinegar naphtha	Ether acétique	Acetato etílico	$CH_3COOC_2H_5$
Acido fénico	Karbolsäure	Carbolic acid	Acide carbolique	Ácido fénico	C_6H_5OH
Ácido fluorhídrico	Flußsäure	Hydrofluoric acid	Acide Fluorhydrique	Fluoruro de hidrógeno	$(HF)_2$
Ácido oxálico	Kleesäure	Oxalic acid	Acide oxalique	Ácido oxálico	$(COOH)_2 \cdot 2H_2O$
Acido pícrico	Pikrinsäure	Picric acid	Acide picrique	2.4.6-tri-nitro-fenol	$C_6H_2(NO_2)_3OH$
Aerosil®	Aerosil®	Aerosil (fumed silica)		Dióxido de silicio en forma de distribución ultra fina	SiO_2
Agua amoniacal	Salmiakgeist	Ammonia liquor	Ammoniaque	Hidrato amónico	NH_4OH
Agua fuerte	Scheidewasser	Agua fortis; (Nitric acid)	Eau forte; (Acide nitrique)	Ácido nítrico	HNO_3
Agua oxigenada	Perhydrol	Hydrogen peroxide	Eau oxygénée	Peróxido de hidrógeno	H_2O_2
Agua regia	Königswasser	Agua regia	Eau régale	Mezcla de ácido nítrico y de ácido clorhídrico	$HNO_3 + HCl\ (1 + 3)$
Alumbre potásico	Alaun, Kali	Potash alum	Alun de potassium	Sulfato alumínico-potásico	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12\ H_2O$
Anhídrido crómico	Chromsäure	Chromic anhydride	Anhydride chromique	Trióxido de cromo	CrO_3
Amoniaco (líquido)	Salmiakgeist	Ammonia liquor	Ammoniaque	Disolución acuosa de hidróxido amónico	NH_4OH
Anona	Anon	Anon; pimelic ketone		Cyclohexanon	$C_6H_{10}O$
Azúcar de plomo	Bleizucker	Sugar of lead; lead acetate	Sel de Saturne; Diacetate de plomb	Acetato de plomo (II)	$(CH_3COO)_2Pb \cdot 3H_2O$

[1] Metil, Propil, i–propil, c–butil: denominaciones de éteres análogs que contienen uno de los grupos dados en vez de Etil

Bicarbonato	Bullrichsalz®, Natron (Natrium-bicarbonat)	Vichy salt, baking soda	Sel de Vichy	Bicarbonato de sodio	$NaHCO_3$
Bisphenol A	Bisphenol A; Dyphenylol-propan	Diane		2,2-bis-(p-hidroxil-fenil-) propano	$(CH_3)_2C(C_6H_4(OH)\text{-}4)_2$
Borax	Borax (Tinkal)	Borax	Borax	Tetraborato sódico	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Butoxyl®	Butoxyl®	Butoxyl		3-metoxi-butilacetato	$CH_3COO(CH_2)_2CH(OCH_3)CH_3$
Cal apagada	Kalk, gelöschter	Slaked lime	Chaux éteinte	Hidróxido cálcico	$Ca(OH)_2$
Calviva	Kalk, gebrannter	Quickline, lenont line; caustre line	Chauxvive	Oxido de calcio	CaO
Calomelanos	Kalomel	Calomel	Calomel	Cloruro de mercurio (I)	Hg_2Cl_2
Carbitol®[1]; Dioxitol®	Carbitol®[1]; Dioxitol®	Carbitol™ (solvent)	Carbitol	Dietilen-glicol-mono-etil-éter	$HOCH_2CH_2OCH_2CH_2OC_2H_5$
Carburo de calcio	Karbid	(Calcium carbide)	Carbure	Carburo de calcio	CaC_2
Cellosolve®[1]; Oxitol®	Cellosolve®[1]; Oxitol®	Cellosolve™ (solvent)		Etilen-glicol-mono-etil-éter	$HOCH_2CH_2OC_2H_5$
Chlorothene®; ("1.1.1")	Chlorothene®; ("1.1.1")	Chlorothene™	Chlorothène	1.1.1-tricloro-etano	Cl_3CCH_3
Cianamida	Kalkstickstoff	Cyanamide of calcium	Chaux azotée	Cianamida cálcica	$CaCN_2$
Cinabrio	Zinnober	Cinnabar	Cinabre	Sulfuro de mercurio (II)	HgS
Cloramina	Chloramin T	Chloramine-T	Chloramine-T	sal de sodio de la p-toluol-cloramida del ácido sulfónico	$CH_3C_6H_4SO_2NClNa \cdot 3H_2O$
Cloropreno	Chloropren	Chloroprene	Chloroprène	2-cloro-butadieno-1.3	$CH_2{=}CClCH{=}CH_2$
Cloruro de estaño	Zinnsalz; (Chlorzinn)	Tinsalt; (stannous chloride)	Sel d'étain; (Chlorure stanneux)	Cloruro de estano (II)	$SnCl_2 \cdot 2H_2O$
Cloruro estánnico	Zinnbutter	Butter of tin	Beurre d'étain	Hidrato de tetracloruro de estaño	$SnCl_4 \cdot 5H_2O$
Colofonia	Kolophonium	Colophony; silvic acid	Colophane	Abietina natural	$C_{19}H_{29}COOH$
Criolita	Kryolith	Cryolite	Cryolite	Hexafluoro-aluminato de sodio	$Na_3(AlF_6)$
Cuerno de ciervo	Hirschhornsalz	Hartshorn salt	–	Mezcla de bicarbonato amónico y carbamato amónico	$NH_4HCO_3 + NH_4OCONH_2$
Decalin	Dekalin	Decalin	Décaline	Décahidronaftaleno	$C_{10}H_{18}$
Diisobutileno	Diisobutylen	Diisobutylene	Diisobutylène	2.4.4-trimetil-penteno-1 y –2	$(CH_3)_3CCH_2C(CH_3){=}CH_2$
DMF	DMF	DMF		N,N-dimetil-formamida	$HCON(CH_3)_2$
DMSO	DMSO	DMSO		Dimetil-óxido sulfúrico	$HCON(CH_3)_2$

Denominación de productos químicos (*Continuación*)

Denominación industrial de: Español	Alemán	Inglés	Francés	Denominación química	Fórmula química
Esencia de almendra amarga	Bittermandelöl	Almond oil bitter	Essence d'amandes	Benzaldehído	C_6H_5CHO
Espato flúor (fluorita)	Flußspat	Fluorite	Fluorine	Fluoruro cálcico	CaF_2
Eter sulfuroso	Schwefeläther	Sulphuric ether	Ether sulfurique	Eter dietílico	$C_2H_5OC_2H_5$
Formol	Formalin	Formalin	Formol	Aldehído fórmico	$HCOH$
Fosfamina	Phosphin	Phosphine	Phosphure d'hydrogène	Fosfuro de hidrógeno	PH_3
Fosfogeno	Phosgen	Phosgene gas	Phosgène	Dicloruro del ácido carbónico	$COCl_2$
Freon	Freon®; Frigen®	Freon; frigine	Fréon; frigène	Compuestos de C, H, F, Cl (Br)	Índice de identificación por cifras[2]
Gas de los pantanos	Grubengas; (Sumpfgas)	Mine gas	Grisou	Metano	CH_4
Gas hilarante	Lachgas ("Stickoxydul")	Laughing gas	Gaz hilarant	Monóxido de nitrógeno	N_2O
Gas licuado	Flüssiggas	Liquid gas	Gaz liquéfié	Propano, butano, isobutano	$C_3H_8 + C_4H_{10}$
Gel azul	Blaugel (Silicagel)	Self-indicating silicagel	(Gel de silice)	Dióxido de silicio con indicador de humedad	SiO_2 combinado con cobalto
Glicol	Glysantin®; Glykol	Glycol	Glycol	Glicol de etileno	CH_2OHCH_2OH
Glicol-butiléster	GB-Ester; Polysolvan O®			Butil-éster de ácido glicólico(butil-éster de hidroxi-ácido acético)	$HOCH_2CH_2OH$ $HOCH_2COOC_4H_{10}$

[2] Códigos de números del freon (Cloroderivados fluorados de los n-alcanos CH_4 y C_2H_6):
Cifra de las centenas = Número de átomos de carbono – 1
Cifra de las dentenas = Número de átomos de hidrógeno + 1
Cifra de las unidades = Número de átomos de flúor
Diferencia para saturar la valencia: número de átomos de cloro
Ejemplos: Freon 113 = $C_2F_3Cl_3$; Freon 21 = $CHFCl_3$

Halon®	Halon®	HalonTM		Polímero de tetra-flour-etileno	$(C_2F_4)n$
Halón (es)	Halon (e)	Halon TM	Halon (s)	Combinaciones de C, F, Cl y Br	Indicaciones de las cifras[3]
Halotán	Halothan	Halothane		1.1.1-trifluor-cloro-bromo-etano	$F_3CCHClBr$
Herrumbre	Polierrot	English red	Rouge d'Angleterre	Óxido de hierro (III)	Fe_2O_3
Hexalin®	Hexalin®	Hexalin	Hexaline	ciclo-hexanol (también: hexa-hidro-naftalina)	ciclo-hexanol (también: hexa-hidro-naftalina)
Hexona	Hexon; MIBK	Hexone		4-metil-pentanon-2(metil-iso-butil-cetona)	$(CH_3)_2CHCH_2COCH_3$
Hielo seco	Trockeneis	Dry ice	Carboglace	Dióxido de carbono sólido	CO_2
Hipoclorito cálcico (polvos de gas)	Chlorkalk	Bleaching powder	Clorure de chaux	Oxicloruro cálcico	$Ca(OCl)Cl$
Hiposulfito sódico	Fixiersalz (Anthichlor)	Frixing salt (hipo)	Sel fixateur; hiposulfite	Tiosulfato sódico	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$
Líquido de Muthmann	Muthmann's Flüssigkeit	Muthmann's liquid		1.1.2.2-tetra-bromo-etano	$Br_2CHCHBr_2$
Mármol	Marmor	Marble	Marble	Carbonato cálcico	$CaCO_3$
Meta	Meta® ("Hartopiritus")	Mota	Alcool solidifie	Tetrametiltetroxaciclooctano (metaldehído)	$(CHCH_3)_4O_4$
Metabisulfito potásico	Kalium-metabisulfit	Potassium metabisulphite	Métabisulfite de potassium	Pirosulfito potásico	$K_2S_2O_5$
Minio	Mennige	Minium	Minium	Ortoplumbato de plomo II	$Pb_2PbO_4(Pb_3O_3)$
Nitrato de calcio	Salpeter; Kalk-, Norge-	Lime saltpeter	Salpêtre	Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$
Nitrato potásico	Salpeter (kali–)	Saltpeter		Nitrato potásico, nitro	KNO_3
Nitro de Chile	Salpeter, Chile-; (Natron-)	Soda niter	Salpêtre	Nitrato potásico	KNO_3
Nitroglicerina	Nitroglycerin	Nitroglycerin	Nitroglycérine	Trinitrato de glicerina	$CHONO_2(CH_2ONO_2)_2$

[3] Código de números de los halones (hidrocarburos totalmente hidrogenados)
Cifra de los millares = Número de átomos de C
Cifra de las centenas = Número de átomos de F
Cifra de las decenas = Número de átomos de Cl
Cifra de las unidades = Número de átomos de Br
Ejemplos: halón 1211 = CF_2ClBr; halón 2402 = $C_2F_4Br_2$

Denominación de productos químicos (*Continuación*)

Denominación industrial de				Denominación química	Fórmula química
Español	Alemán	Inglés	Francés		
Papel de estaño	Stanniol	Tin foil	Papier d'étain	Pepel de estaño	Sn
Piedra infernal	Höllenstein	Silver nitrate	Pierre infernale	Nitrato de plata	$AgNO_3$
Pirolusita (Dióxido negro de manganeso)	Braunstein	Pyrolusite	Pyrolusite	Dióxido de manganeso	MnO_2
Potasa	Pottasche	Potash	Potasse	Carbonato potásico	K_2CO_3
Potasa cáustica	Ätzkali	Caustic potash	Potasse caustique	Hidróxido potásico	KOH
Prusiato amarillo de potasa	Blutlaugensalz, gelbes; Kalim ferrocyanid	Yelow prus of potash	Ferrocyanure de potassium	Ferrocianuro potásico	$K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$
Prusiato rojo de potasa	Blutlaugensalz, rotes; Kalium ferricyanid	Red prussiate of potash	Ferricyanure de potassium	Ferricianuro potásico	$K_3[Fe(CN)_6]$
Rojo de antimonio	Goldschwefel	Golden antimony sulphide	Pentasulfure d'antimoine	Pentasulfuro de antimonio	Sb_2S_5
Sal de acederas	Kleesalz (Sauerkleesalz)	Salt of sorrel	Sel d'oseille	Oxalato ácido de potasio-sal doble del ácido oxálico	$(COOH)_2 \cdot (COOHCOOK) \cdot 2H_2O$
Sal de Epsom	Salmiak (Salmiaksalz)	Sal ammoniac	Sel ammoniaque	Cloruro amónico	NH_4Cl
Sal de amoníaco	Butersalz (Magnesiumvitriol)	Epsom salt	Sel d'Epsom	Sulfato magnésico	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
Sal de fósforo	Phosphorsalz	Microcosmic salt		Fosfato de sodio-amonio hidrogenado	$NH_4NaHPO_4 \cdot 4H_2O$
Sal de Glauber	Glaubersalz	Glauber's salt	Sel de Glauber	Sulfato sódico	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
Sal de Mohr	Mohr'sches salz	Mohr's salt	Sel de Mohr	Sulfato de hierro (II) y amonio	$(NH_4)_2Fe(SO4)_2 \cdot 6H_2O$
Sal de Seignette o de Rochelle	Seignettesalz	Rochelle salt; salt of Seignette	Sel de Signette	Tartrato de potasio-sodio	$(CHOH)_2COOKCOONa$

Español	Alemán	Inglés	Francés	Denominación química	Fórmula química
Sal fulmínica	Knallsalz	(Potassium chlorate)	Sel de Berthollet	Sal fulmínica	$KClO_3$
Sal fumante	Salzsäure	Hydrochloric acid	Acide chlorhydrique	Disolución acuosa de cloruro de hidrógeno	HCl
Salitre de Noruega	Salpeter, Ammon	Ammonium nitrate	Nitrate d'ammonium	Nitrato amónico	NH_4NO_3
Sosa	Soda (Kristall–)	Soda crystals	Cristaux de soude	Carbonato sódico	Na_2CO_3
Sosa cáustica	Ätznatron	Caustic soda	Soude caustique	Hidróxido sódico	NaOH
Subacetato de plomo	Bleiessig	Vinegar of lead	Eau blanche; vinaigre de plomb	Acetato monobásico de plomo	$(CH_3COO)_2Pb_2O$
Sublimado corrosivo	Sublimat	Corrosive sublimate	Sublimé corrosif	Cluoruro de mercurio (II)	$HgCl_2$
Tetracloroetileno	Per	Tetrachloroethylene	Tétrachloréthylène	Tetracloroetileno (Percloroetileno)	$Cl_2C{=}CCl_2$
Tetracloruro de carbono	Tetra ("Tetraform")	Carbon tetrachloride	Tétrachlorure de carbone	Tetracloruro de carbono	CCl_4
Tetralin	Tetralin	Tetralin	Tétraline	Tetracloruro de carbono	$C_{10}H_{12}$
Tiza	Kreide	Chalk	Craie	Carbonato cálcico	$CaCO_3$
Tricloroetileno	Tri	Trichloroethylene	Trichloéthyéne	Triclroetileno (tricloroeteno)	$Cl_2C{=}CHCl$
Trinitrotolueno	TNT	TNT; trotyl	TNT; tolite	2.4.6-trinitrotolueno	$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$
Urea	Harnstoff	Urea	Urée	Diamida de dióxido de carbono	$CO(NH_2)_2$
Urotropina	Urotropin	Urotropine	Urotropine	Hexametilentetramina	$N_4(CH_2)_6$
Vidrio soluble (potásico)	Wasserglas, Kali-	Water glass	Verre soluble	Disolución de silicato potásico	$K_2SiO_3 + K_2Si_2O_5$
Vidrio soluble (sódico)	Wasserglas, Natron-	Water glass	Verre soluble	Disolución de silicato sódico	$Na_2SiO_3 + Na_2Si_2O_5$
Vinagre	Eisessig (Essigessenz)	(Glacial) Acetic acid	Acide acétique	Ácido acético	CH_3COOH
Vitriolo azul	Kupfervitriol	Blue vitriol	Vitriol bleu	Sulfato de cobre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$
Vitriolo verde	Eisenvitriol	Green vitriol	Vitriol vert; couperose verte	Sulfato de hierro (II)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Corrosión y protección contra la corrosión

Por corrosión se entiende la pérdida de material de la superficie de un metal a consecuencia de la reacción electroquímica con substancias del entorno. A causa de la misma, los átomos metálicos se oxidan y forman compuestos no metálicos. Este proceso corresponde, contemplado termodinámicamente, al paso de un estado ordenado rico en energía a uno menos ordenado, pobre en energía, y por ello más estable.

Los procesos de corrosión son siempre reacciones en los límites de fases, como son, por ejemplo, la oxidación de metales en gases calientes. Sin embargo, en este caso se trata exclusivamente de la corrosión en la interfase metal/acuosa, que en general se llama corrosión electroquímica.

Ataque corrosivo

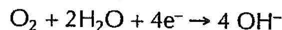
En todo ataque corrosivo tienen lugar en principio dos reacciones diferentes: en la parte anódica del proceso, en la cual el proceso de corrosión se reconoce inmediatamente, el metal, a causa de la diferencia de potencial que se origina, pasa al estado oxidado perdiendo un número equivalente de electrones según la ecuación



$$Me \rightarrow Me^{n+} + ne^-$$

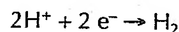
Los iones metálicos formados pueden disolverse en los electrolitos o bien depositarse sobre el metal después de reaccionar con componentes del medio atacante.

Este proceso parcial anódico sólo prosigue mientras los electrones liberados son consumidos en un segundo proceso. Este proceso consiste en una reacción parcial catódica. En medios neutros o alcalinos se reduce el oxígeno a iones oxhidrilo según:



$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4\,OH^-$$

que, por su parte, pueden reaccionar, por citar un ejemplo, con los iones metálicos, mientras que en medios ácidos, los iones hidrógeno se reducen al formar hidrógeno libre, que se desprende en forma de gas:



$$2H^+ + 2\,e^- \rightarrow H_2$$

Si dos metales diferentes cubiertos por un mismo medio se ponen en contacto eléctrico, la parte catódica del proceso tendrá lugar en el metal más noble y la del proceso anódico en el menos noble. Se habla en ese caso de corrosión por contacto.

Ambas reacciones pueden tener lugar, no obstante, en un único metal; se habla entonces de corrosión a la intemperie.

Los procesos parciales catódico y anódico pueden alternarse en la interfase metal/disolución, continuamente con una distribución estadística no ordenada de lugar e instante de los procesos.

Cada una de las dos reacciones parciales corresponde a una curva intensidad parcial/tensión. La corriente total se compone aditivamente de ambas intensidades parciales I_a e I_k :

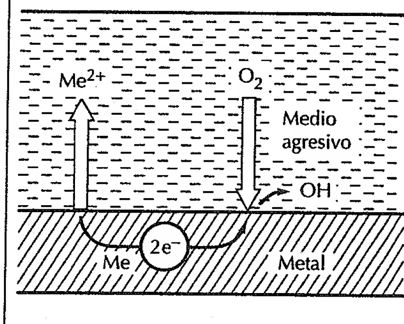
$$I_{total} = I_a + I_k$$

Ambas curvas intensidad parcial/tensión se suman para dar la curva suma de intensidades/tensión.

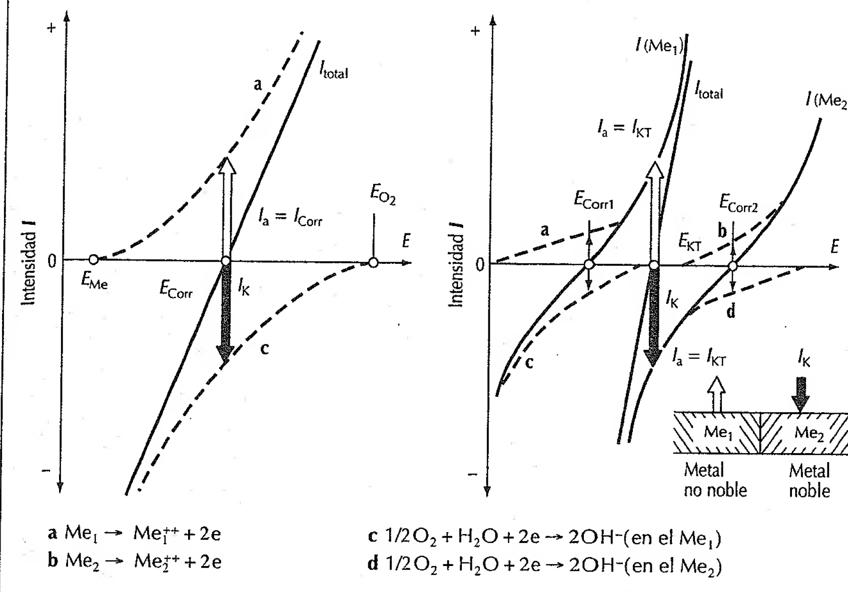
En ausencia de tensión externa, es decir, en el caso de la corrosión a la intemperie,

Corrosión a la intemperie en la interfase metal/líquido corrosivo

En el medio agresivo, en el metal que sufre corrosión, se reduce oxígeno con formación simultánea de los productos de la corrosión



Curvas de intensidad parcial y de suma de intensidades/tensión para la corrosión a la intemperie (arriba) y la corrosión por contacto (abajo)

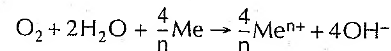


el sistema toma el estado en el que la intensidad parcial anódica y la catódica se compensan exactamente.

$$I_a = -I_k = I_{corr}$$

En este caso la intensidad parcial anódica se llama intensidad de corrosión I_{corr}, mientras que el correspondiente potencial al cual tiene lugar esa compensación de las intensidades parciales se denomina "potencial de corrosión libre" o también, simplemente "potencial en reposo", E_{corr}.

El potencial en reposo es un potencial mixto en el que no se alcanza el equilibrio, puesto que continuamente hay transformación de substancias según la ecuación empírica



$$O_2 + 2H_2O + \frac{4}{n}Me \rightarrow \frac{4}{n}Me^{n+} + 4OH^-$$

Básicamente ocurre lo mismo también en la corrosión por contacto, aunque en ese caso las condiciones son más complicadas, puesto que además de las dos curvas intensidad parcial/tensión en cada uno de los dos metales y las dos curvas resultantes intensidad suma/tensión, también hay que tener en cuenta la curva resultante intensidad total/tensión del sistema total como magnitud que se manifiesta hacia fuera.

Series de tensiones

A menudo se ordenan los metales por valores crecientes del "potencial normal" como "serie electroquímica de tensiones". El concepto "potencial normal" indica aquí que los distintos valores particulares son los válidos para condiciones normales, especialmente para las actividades de los iones metálicos disueltos (la parte electroquímicamente activa de las concentraciones), así como del hidrógeno en cada caso de 1 mol/l para una presión de hidrógeno de 1 bar a 25 °C. Estas condiciones se dan rarísimas veces, ya que las disolu-

ciones están entonces prácticamente libres de iones del metal considerado.
Debe resaltarse que la lista da valores puramente termodinámicos. Las influencias de la cinética de la corrosión a consecuencia de la formación de capas protectoras, no se tienen en cuenta aquí. Así sucede, a modo de ejemplo, para el plomo, que siendo un metal no noble debería disolverse en ácido sulfúrico. La serie de tensiones "prácticas" o "técnicas" no presenta este inconveniente, pero, sin embargo, sólo pueden utilizarse muy limitadamente. Las mediciones de corrosión electroquímica dan por el contrario resultados reveladores.

Como punto de partida, para metales no sujetos a ninguna tensión eléctrica exterior, se puede dar la relación que sigue entre potencial y sensibilidad a la corrosión, con tal que no ejerzan ninguna influencia las reacciones secundarias, tales como las de formación de complejos o la formación de capas recubrientes;

Los metales muy poco nobles (potencial que no llega a −0,4 V), por ejemplo: Na, Mg, Be, Al, Ti y Fe, se corroen en disoluciones acuosas neutras incluso en ausencia de oxígeno.

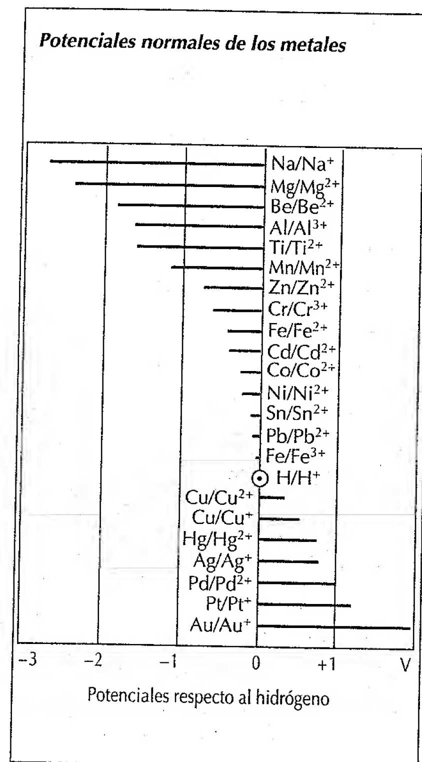
Los metales no nobles (potencial entre −0,5 y 0 V), por ejemplo, Cd, Co, Ni, Sn y Pb, pueden corroerse en disoluciones acuosas neutras en presencia de oxígeno; en ácidos incluso en ausencia de oxígeno y con desprendimiento de hidrógeno.

Los metales seminobles (potencial entre 0 y +0,7 V), por ejemplo, Cu, Hg y Ag, se corroen en cualquier disolución, sólo en presencia de oxígeno.

Los metales nobles (potenciales por encima de +0,7 V), por ejemplo, Pd, Pt y Au, son por lo general estables.

Si los metales en cuestión están bajo una tensión eléctrica exterior, pueden presentar un comportamiento notablemente diferente del anteriormente mencionado, que se aprovecha para la protección contra la corrosión electroquímica (véase la sección "protección contra la corrosión electroquímica").

Potenciales normales de los metales



Potenciales respecto al hidrógeno

Fenomenología de la corrosión

Corrosión superficial
Pérdida uniforme de material por toda la capa del material en contacto con el medio agresivo. Es un tipo de corrosión que se presenta muy frecuentemente, que permite calcular el espesor perdido por unidad de tiempo según la intensidad de la corriente de corrosión.

Corrosión en forma de picaduras
Ataque del material en ciertos puntos por el medio corrosivo, de forma que se producen agujeros que casi siempre son más profundos que su diámetro. Fuera de los lugares donde hay picaduras no se produce prácticamente ninguna pérdida de material. Las picaduras están producidas generalmente por iones de haluro.

Corrosión de rendijas
Es el sistema de corrosión de preferencia en separaciones estrechas (rendijas) por diferencias de concentración en el medio corrosivo, por ejemplo, a causa de los caminos de difusión más largos para el oxígeno. Entre el principio y el final de la rendija se originan diferencias de potencial que provocan la corrosión de la zona menos aireada.

Fisuración por corrosión bajo tensión
Corrosión por acción simultánea de un medio corrosivo y tensiones mecánicas a tracción, que también pueden producir una tensión propia en la pieza. Se forman grietas intercristalinas o transcristalinas, a menudo sin que aparezcan productos visibles de la corrosión.

Fisuración por corrosión bajo de fatiga
Corrosión por acción simultánea de un medio corrosivo y solicitación mecánica alternativa u oscilante. Se presenta en forma de grietas transcristalinas, a menudo sin que se observe ninguna deformación.

Corrosión por rozamiento
Corrosión provocada por acción simultánea de un medio corrosivo y rozamiento mecánico; también se denomina a veces oxidación por rozamiento.

Corrosión intercristalina y transcristalina
Tipo de corrosión que discurre selectivamente a lo largo de los bordes del grano o casi paralela a la dirección de deformación por el interior de los granos.

Descincado
En el latón se disuelve selectivamente el cinc con lo que queda un armazón poroso de cobre. De la misma forma se habla de desniquelado y desaluminizado.

Formación de herrumbre
Formación de productos de la corrosión a base de hidróxidos y óxidos de hierro, sobre el hierro y el acero.

Ensayos de corrosión

Ensayos de corrosión electroquímica
(DIN 50918)
En los procesos de ensayo de corrosión electroquímica se determina las corrientes de corrosión mediante las cuales se puede calcular exactamente, en la corrosión superficial uniforme, la pérdida de peso y de espesor por unidad de tiempo. Un objetivo secundario es medir las relaciones entre los potenciales y los materiales en estudio durante la reacción de corrosión. Los factores de cálculo se resumen en la tabla 2.

Los procesos electroquímicos son ampliaciones valiosas de los métodos no electroquímicos.

En el caso de corrosión a la intemperie se determina por la resistencia de polarización, que es la pendiente de la curva intensidad total/tensión en el potencial de reposo, y que puede determinarse por medio de pequeños impulsos anódicos y catódicos que se darán alternadamente al metal.

En la medición de la corrosión por contacto se mide la intensidad de la corriente que fluye entre los dos metales del par cuando se sumergen ambos en el mismo líquido.

Las proporciones de extracción de metal obtenido por métodos electroquímicos coinciden muy bien con los resultados de las investigaciones de campo. Además del corto tiempo de ensayo (1 día) y de la pequeña cantidad en el medio corrosivo (décimas por litro) poseen la ventaja respecto a los procedimientos no electroquímicos de que dan proporciones de pérdida de material cuantitativas.

Procedimientos de ensayo de corrosión no electroquímicos
En los procesos de ensayo no electroquímicos se determina por pesada, o bien el peso perdido, o bien la cantidad de herrumbre formada. La norma DIN 53 210 define 5 grados de oxidación diferentes, según la superficie cubierta de óxido o la (tabla 3).

Tabla 1. Resumen de algunos ensayos de corrosión normalizados no electroquímicos

Norma	Tipo de ensayo de comprobación
DIN 50 016	Clima cambiante con calor húmedo
DIN 50 017	Clima cambiante con calor húmedo y vapor condensado
DIN 50 018	Ensayo en clima cambiante con atmósfera que contiene SO_2 (Ensayo de Kesternich)
DIN 50 113	Ensayo de materiales metálicos (ensayo a la fatiga por flexión rotativa)
DIN 50 142	Ensayo de materiales metálicos (ensayo de oscilación de flexión planar)
DIN 50 900	Conceptos del análisis de la corrosión
DIN 50 905	Corrosión de los metales. Fundamentos (análisis químicos de la corrosión)
DIN 50 911	Ensayos de aleaciones de cobre (ensayo de nitrato de mercurio)
DIN 50 914	Ensayos de aceros inoxidables contra la corrosión intercristalina (procedimiento del sulfato de cobre/ácido sulfúrico; ensayo de Strauss)
DIN 50 915	Ensayo de aceros no aleados o de poca aleación contra la corrosión intercristalina bajo tensión
DIN 50 917	Ensayos al natural (a la intemperie) Ensayos al natural en agua de mar
DIN 50 919	Análisis de la corrosión por contacto en soluciones electrolíticas
DIN 50 920	Análisis de la corrosión en líquidos en movimiento
DIN 50 922	Análisis de la estabilidad de los materiales metálicos frente a la fisuración por corrosión bajo tensión
DIN 50 928	Ensayo y evaluación de la protección contra la oxidación de materiales metálicos recubiertos debida a medios de corrosión acuosos
DIN 51 213	Ensayos de recubrimientos metálicos de los alambres
ASTM B380	Ensayo Corrodkote para piezas cromadas de vehículo
ASTM B117	Ensayo de corrosión en niebla salina
ASTM G 48-76	Ensayo de cloruro de hierro para corrosión en forma de picaduras

Tabla 2. Pérdida de masa y pérdida de espesor en la corrosión superficial de distintos metales con una densidad de corriente de corrosión de 1 μA/cm²

Metales	Peso atómico	Densidad g/cm³	Pérd. masa mg/(cm²-año)	Pérd. peso μm/año
Fe	55,9	7,87	9,13	11,6
Cu	63,5	8,93	10,4	11,6
Cd	112,4	8,64	18,4	21,0
Ni	58,7	8,90	9,59	10,8
Zn	65,4	7,14	10,7	15,0
Al	26,9	2,70	2,94	10,9
Sn	118,7	7,28	19,4	26,6
Pb	207,2	11,3	33,9	30,0

Tabla 3. Equivalencia entre la escala de oxidación DIN y la escala de oxidación europea

Grado de oxidación DIN 53 210	Grado de oxidación según escala europea de oxidación
R_i0	R_e0
R_i1	R_e1
R_i2	R_e2
R_i3	R_e3
–	R_e4
R_i4	R_e5
–	R_e6
R_i5	R_e7
–	R_e8
–	R_e9

Los ensayos de corrosión correspondientes derivan de las exigencias de la explotación práctica. Junto a los procedimientos de ensayo DIN o ASTM normalizados (tabla 1), se han impuesto en la práctica procedimientos de ensayo adaptados a exigencias especiales, por ejemplo, en los vehículos a motor (envejecimiento a la intemperie durante la marcha, ensayos de chorro de agua para prueba de sistemas químicos de recubrimiento) que permiten, en un tiempo reducido, sacar conclusiones sobre la vida útil en esas condiciones adversas.

Protección contra la corrosión

Procedimiento electroquímico

El funcionamiento de este procedimiento se representa en la curva esquemática de intensidad/tensión de un metal que se puede pasivar. Las densidades de corriente introducidas ascendentes en el eje de ordenadas representan las intensidades anódicas, que corresponden a la reacción de corrosión:


$$Me \rightarrow Me^{n+} + ne^-$$

Las densidades de corriente introducidas descendentes representan corrientes catódicas, para la ecuación de reacción leída de derecha a izquierda. Del esquema se pueden tomar medidas directas de cómo se reduce la corrosión al aplicar una tensión exterior. Para tal fin se presentan en principio dos posibilidades:

En la protección catódica se desplaza el potencial tanto hacia la izquierda, que no fluye ninguna intensidad anódica, de modo que $U < U_a$. Además de aplicando una tensión exterior, el desplazamiento del potencial también puede conseguirse introduciendo un metal menos noble que actúe de ánodo de sacrificio.

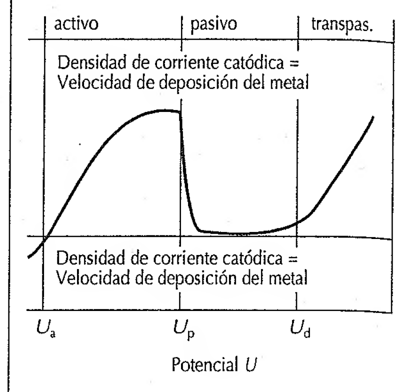
El potencial de los electrodos que haya que proteger puede también desplazarse a la zona pasiva, es decir, al intervalo entre U_p y U_d. Se habla entonces de protección anódica. Las intensidades anódicas que fluyen en la zona pasiva según el tipo de metal y del líquido corrosivo, están 3 a 6 décimas por debajo de las intensidades

del campo activo, de forma que el metal correspondiente queda muy bien protegido. Sin embargo, el potencial no debe ser mayor que U_d, ya que en esa zona transpasiva se desprenderá oxígeno y en algunos casos se oxidará más metal. Ambos efectos condicionan el aumento de la corriente.

La forma de la curva intensidad/tensión también puede modificarse añadiendo inhibidores, que consisten en substancias que, añadidas a pequeñas concentraciones (hasta un máximo de 100 ppm) al medio atacante, son absorbidas químicamente por los metales y que reducen drásticamente las velocidades de corrosión porque bloquean ya sea el proceso catódico o el anódico (a menudo también ambos a la vez). Como inhibidores se emplean principalmente aminas y amidas de ácidos orgánicos. En los vehículos, los inhibidores forman parte, por ejemplo, de los aditivos del combustible; también se añaden a los líquidos anticongelantes para evitar corrosiones en el circuito de refrigeración.

Curva esquemática de intensidad/tensión de un metal que se puede pasivar

U_a Potencial de corrosión en reposo del metal en estado activo
U_p Potencial de pasivación
U_d Potencial de penetración



Recubrimientos

El principio de este tipo de protección contra la corrosión, de las superficies es formar capas protectoras directamente sobre el metal a proteger, de modo que se opongan al ataque del medio corrosivo. Estas capas protectoras no deben ser ni porosas ni conductoras y han de tener un espesor determinado. En los sistemas que exigen una precisión de medidas, las capas de protección producen a menudo dificultades.

Recubrimientos no metálicos inorgánicos

Los recubrimientos protectores pueden formarse con participación del material que hay que proteger. Por ejemplo, se puede mejorar la formación de capas de recubrimiento de óxido estable creando aleaciones con pequeñas cantidades de otros metales, como por ejemplo, silicio en el hierro colado, o molibdeno en los aceros al cromoníquel. Las capas protectoras también pueden formarse en presencia de fosfatos, cromatos o silicatos. Esto se utiliza a menudo, por ejemplo, en la industria del automóvil para las carrocerías ("fosfatado") y también en los sistemas de refrigeración.

Procedimiento de difusión

El tratamiento de superficies puede guardar relación con el de endurecimiento superficial a base de carburos, carbonitruros, boruros, cromo o vanadio. También se puede oxidar, nitrurar o sulfurar sin endurecimiento.

Pavonado

Por medio del pavonado se consiguen recubrimientos que por un tiempo corto ofrecen cierta protección. El material férrico se sumerge para ello en hidróxido sódico caliente y concentrado que contiene $NaNO_2$.

Anodizado

El anodizado está limitado al aluminio. Es la oxidación de un metal que hace de ánodo con electrolitos que contienen ácido sulfúrico, crómico u oxálico con lo que se forma una capa protectora muy resistente, la cual a su vez se puede estabilizar y quedar de diversos colores por cromatización. También las superficies de cadmio y de magnesio se pueden cromatizar.

Esmaltado

El esmaltado produce una protección elevada contra la corrosión, sobre todo del acero no aleado. Por otro lado, los recubrimientos de esmalte son frágiles y de ahí que sean muy susceptibles a los golpes y cambios bruscos de temperatura. Además deben estar siempre a contracción, puesto que las tensiones a tracción producen grietas en el esmalte (por ejemplo, si se sobrepasa el límite elástico del material portante) por su poca tenacidad. En la fabricación, y con el fin de mejorar la adherencia, primero se funde sobre el material de base una capa intermedia que luego se recubre con una capa protectora a base de silicatos.

Cerámica vitrificada

Las cerámicas vitrificadas de reciente desarrollo no presentan los inconvenientes del esmalte en las solicitaciones mecánicas o térmicas. En su fabricación el material recibe un recubrimiento parcialmente cristalizado con un grado de cristalización de aproximadamente el 50%, por medio de cristalización controlada de vidrios inestables, que quedan fijados por un tratamiento térmico posterior.

Recubrimientos metálicos

Las posibilidades de aportación de metales o compuestos metálicos extraños sobre el material de base son múltiples. A menudo van juntas las exigencias de protección contra la corrosión y contra el desgaste o las de obtener una superficie decorativa. Los procedimientos corrientes para los metales apropiados, y su campo de aplicación están recopilados en la tabla 4. No todos los metales son apropiados para todos los tipos de protección (por ejemplo, el aluminio pulverizado térmicamente no ofrece ninguna resistencia al desgaste).

Galvanizado (electrólisis)

Por electrólisis se separan los iones metálicos de las sales en las disoluciones conductoras de la electricidad. Con las instalaciones adecuadas se obtienen aleaciones o capas de dispersión (capas de inclusión de finas partículas de las substancias accesorias) que no se pueden conseguir por metalurgia de fusión. La mayor parte de los metales se separan en disoluciones acuosas. Por el contrario, el extraordinariamente innoble aluminio se separa en disoluciones orgánicas no acuosas o de fusiones de sales.

Tabla 4. Utilización de los recubrimientos protectores inorgánicos

Procedimiento de incorporación	Tipo de metales	Se utiliza principalmente para:
Deposición (química) sin corriente externa	Ni (NiB, NiP, NiPCu), Cu, (Capas de dispersión) (NiB + SiC, NiP + SiC)	Protección contra la corrosión, resistencia al desgaste, superficies decorativas
Vaporización	Al, Au, Ta	Protección contra la corrosión
Electrodeposición (con corriente externa)	Ag, Al, Au, Cd, Cr, Ni, Sn, Zn, ZnNi, ZnNiP	Protección contra la corrosión, superficies decorativas
Chapado	Al, Cu, Ni, Pb, Ti, Zr y sus aleaciones. Aceros inoxidables	Protección contra la corrosión
Baño en caliente (entre otros el "cincado al fuego")	Al, Pb, Sn, Zn	Protección contra la corrosión
Metalización por proyección	Al y aleaciones Cr, Ni, NiCr, NiCrBSi, Ti, Boruros, carburos, óxidos	Protección contra la corrosión, protección contra el desgaste

Deposición (química) sin corriente exterior

Se trata del mismo principio que el de la electrodeposición, pero en este caso los electrones necesarios para la reducción los aporta un medio reductor añadido, en vez de la fuente de corriente, casi siempre hipofosfito sódico o borato sódico. Por ello se incorpora frecuentemente fósforo o boro a la mayoría de los recubrimientos de níquel.

Procedimiento de baño en caliente

Inmersión en baño de metal fundido. Se emplea en la industria del automóvil el cincado al fuego del hierro y del acero. Para ello las piezas que hay que recubrir, previamente preparadas (decapadas, recubiertas de fundente), se sumergen en el metal fundido, de forma que en el límite de fases, correspondiente a las proporciones de solubilidad del diagrama de estados, se producen capas aleadas que aseguran la adherencia entre la base y el metal de recubrimiento. De esta forma se pueden formar capas notablemente más gruesas que por electrodeposición.

Deposición por vaporización

Por razón del coste la vaporización sólo se utiliza para casos especiales, sobre todo para capas delgadas sobre objetos de poca superficie. A menudo estas capas finas deben, a su vez, protegerse por medio de un recubrimiento orgánico o inorgánico adicional (ejemplo: el espejo de los faros). El material de recubrimiento se calienta al vacío por corriente eléctrica y se vaporiza.

Metalización por proyección

En la proyección, el material de recubrimiento, que casi siempre está en forma de polvo, se funde al salir de la pistola de proyección, por medio del plasma ("proyección con plasma"), o de un arco eléctrico. Por las condiciones del procedimiento no queda una capa homogénea y, además, resulta algo porosa, motivo por el cual hay que formar capas muy gruesas (150 a 200 µm) para conseguir una buena protección contra la corrosión.

Chapado

Se entiende por chapado la unión de dos o más capas de materiales que en condiciones normales de trabajo no se separan, y que se obtienen a temperatura y/o presión elevadas. Se distingue entre chapado laminado, elástico y mecánico. El acoplamiento de las partes se produce por difusión, combinado con la formación de aleaciones, o por ensamblado mecánico. La capa de material protector es de algunos milímetros de espesor.

Recubrimientos orgánicos

Como capas protectoras se emplean en este caso termoplásticos, elastómeros y termoestables, que tienen aplicación en la industria del automóvil en forma de pinturas, plásticos fluidificados, láminas de forro, resinas cargadas con fibra, y masillas. La acción protectora depende del tipo de plástico, así como también del aglomerante, de la protección contra el envejecimiento, de los estabilizadores UV y de los pigmentos y cargas de relleno empleadas. Los recubrimientos correspondientes se pueden emplear solos o combinados con algunos de los recubrimientos inorgánicos ya mencionados.

Pintura

La pintura, según las condiciones, se puede aplicar por el método convencional a brocha, con rodillo, o por proyección pulverizada con aire comprimido y alta presión, por inmersión (también por utilización de electroforesis), y por pintado a pistola electrostático. Sobre la superficie del metal previamente preparada se da una capa base de imprimación y sobre ésta la de protección contra la corrosión propiamente dicha. Al volatilizarse el disolvente o por absorción de oxígeno se forma una película continua impermeable.

Recubrimiento con polvo

Los plásticos en polvo, que a temperatura ambiente son difíciles de llevar a la fase líquida, pueden emplearse en procesos de recubrimiento con polvo. Para ello, el polvo se puede sinterizar sobre la pieza previamente precalentada, o bien proyectar con pistola y calor o electrostáticamente, y, si fuera necesario, puede utilizarse un tratamiento térmico para obtener capas homogéneas y densas. Los procedimientos de recubrimiento con polvos son por lo general más económicos y menos contaminantes que los procesos con pintura y precisan de menos gasto en medidas de seguridad.

Revestimientos de goma y plásticos (recubrimientos plásticos)

Por revestimientos de goma y plástico se protegen a menudo depósitos de transporte y almacenamiento, aparatos y tuberías. Se aplican al metal base tanto láminas preengomadas de látex (natural o sintético), así como de termoplásticos pretratados, con un adhesivo que después de aplicado a los materiales portantes desnudos se fija definitivamente por calefacción y catalíticamente.

Polimerización por plasma

La polimerización por plasma ofrece nuevas posibilidades de recubrimiento. Los monómeros orgánicos se polimerizan sobre el material a cubrir por la acción de un plasma de descarga de gas. Con una capa polimerizada de este modo se pueden recubrir todos los metales. Se obtienen películas orgánicas sin las burbujas clásicas de los componentes volátiles corrientes que tan a menudo se hallan en los polímeros compactos.

Otras posibilidades de protección contra la corrosión

A menudo resulta posible prevenir y reducir la corrosión adoptando las medidas convenientes durante la construcción. Así pues, en la construcción se hará todo lo posible para que todas las superficies sean lisas, y se evitarán las grietas y las rendijas. En el diseño de sistemas que puedan contener dos fases líquidas (por ejemplo, gasolina/agua), de las que sólo una es corrosiva (el agua), hay que procurar que en los tiempos de parada las partes críticas del metal no queden mojadas por la fase corrosiva. La corrosión por contacto puede evitarse siempre que haya sólo un metal en las zonas amenazadas por la influencia del medio circundante. En el caso de que no pueda darse esta condición, por razón de la construcción, los dos metales deberían aislarse eléctricamente entre sí. Desde el punto de vista de la corrosión es pues mejor que sea el metal más noble el que esté revestido con una capa.

Inhibidores de fases de vapor

Los inhibidores de fases de vapor dan sólo una protección transitoria durante el almacenamiento y el transporte de productos metálicos.

Los inhibidores de fases de vapor, también llamados VCI (Volatile Corrosion Inhibitors) o VPI (Vapour Fase Inhibitors), son substancias orgánicas de presión moderada de vapor. A menudo se incorporan a materiales especiales de embalaje o se disuelven en medios acuosos u oleosos. Paulatinamente se evaporan o se subliman y son adsorbidos por la superficie del metal donde forman una capa molecular que inhibe la corrosión anódica o catódica, o ambas a la vez (representante típico: nitrito de di-ciclo-hexilo-amina).

Para que su eficacia sea la óptima, el inhibidor debe formar una capa hermética que cubra la mayor área superficial que sea posible. Por esta razón se utilizan en materiales de embalaje tales como papeles especiales y películas de polietileno. No son necesarios los cierres de bordes herméticos; el embalaje puede ser abierto brevemente para inspecciones del contenido. La duración del efecto depende de la impermeabilidad del embalaje y de la temperatura (normalmente aprox. dos años; a temperaturas notablemente superiores a la normal se acorta mucho la duración del efecto).

Los inhibidores de fases de vapor usados comercialmente contienen generalmente varios componentes, los cuales protegen varios metales y aleaciones, a excepción del cadmio, plomo, tungsteno y magnesio.

Tratamiento térmico de materiales metálicos

El tratamiento térmico confiere a las piezas y herramientas metálicas las propiedades idóneas para su elaboración y para su función. Consta de una o varias secuencias de tiempo/temperatura. La pieza a tratar se calienta a la temperatura requerida y se mantiene así durante un determinado período de tiempo antes de volverla a enfriar a temperatura ambiente (o, en algunos casos, menores). La velocidad de enfriamiento se calcula para obtener los resultados deseados.

De esta forma se producen estados estructurales que destacan por su carga dinámica o estática, por su dureza, resistencia, conformabilidad, resistencia al desgaste, etc. En la tabla 1 se resumen los procesos industriales más importantes (véase la terminología en DIN 17 014, parte 1ª).

Temple

El temple sirve para obtener la estructura llamada martensítica en materiales de hierro (acero, fundición de hierro), que se caracteriza por su alta dureza y resistencia.

Para ello se calienta hasta la temperatura de austenización o de temple. Se mantiene hasta que se forma la estructura de la austenita y se haya disuelto en ella una cantidad suficiente de carbono, el cual a su vez es liberado de la descomposición de los carburos (p.ej. grafito en la fundición de hierro). Luego se enfría paulatina o bruscamente para conseguir una transformación lo más completa posible a martensita. (Para los valores indicativos de la velocidad requerida de enfriamiento véase el diagrama de transformación isotérmica del acero correspondiente.)

La temperatura de temple se rige según la composición del material (datos exactos véase DIN – condiciones técnicas de suministro de aceros); en la tabla 2 se dan unos valores indicativos. Las indicaciones para la ejecución del temple de componentes y herramientas en la práctica se pueden ver en DIN 17 022, partes 1ª y 2ª. Para el temple se prestan solamente los aceros y fundiciones de hierro templables. Mediante la relación de templabilidad para aceros aleados y no aleados con proporciones de masa de carbono entre 0,15 y 0,60%, que se cita a continuación, puede estimarse la dureza obtenible a estructura completamente martensítica:

Dureza máxima = 35 + 50 · (% de C) ± 2 HRC

Si la estructura no es completamente martensítica, no se alcanza la dureza máxima.

A contenidos de carbono superiores al 0,6% en masa, hay que tener en cuenta la posibilidad de que la estructura contenga, además de martensita, partes no transformadas de austenita (austenita residual). Por ello no se alcanza la dureza máxima y se reduce la resistencia al desgaste. Además la austenita residual es metaestable, es decir, que puede transformarse en martensita a temperaturas inferiores a las del ambiente o a consecuencia de solicitaciones posteriores, pudiendo variar el volumen específico y la tensión propia. Si no puede evitarse la austenita residual, puede ser conveniente un enfriamiento profundo a continuación o un revenido por encima de los 230 °C.

En piezas de hasta una sección de 10 mm² las durezas superficial y del núcleo son prácticamente iguales. En secciones mayores, la dureza interior es inferior; hay un gradiente de durezas que resulta de la templabilidad en función de la composición del material (Mo, Mn, Cr) (ensayo según DIN 50 191). Este factor debe tenerse especialmente en cuenta en aquellas partes de la pieza que no se enfrían bien (partes gruesas y/o procesos de enfriamiento lentos o graduales diseñados para minimizar el riesgo de fisuras y/o distorsiones).

La norma DIN 50 150 define el método para estimar la resistencia a la tracción, R_m, a partir de la dureza. Este método sólo se puede aplicar en aquellos casos en que las durezas superficial e interior sean iguales:

$R_m \approx$ (34 a 37,7) · Dureza-C-Rockwell en N/mm² o bien

$R_m \approx$ (3,2 a 3,35) · Dureza-Vickers en N/mm²

El volumen específico de la estructura martensítica es aprox. 1,0% mayor que el del estado inicial. Además se producen tensiones por la transformación estructural y la contracción de enfriamiento. Ya que esto no sucede en toda la sección de la pieza, se producen variaciones de formas y dimensiones y normalmente tensiones de tracción en la zona superficial y tensiones de presión en la zona inferior.

Tabla 2. Resumen de las temperaturas de temple

Tipo de acero	Norma calidad DIN	Temper. temple en °C
Aceros no aleados y ac. de baja aleación aceros 0,8% de C en peso	17200 17211 17212	780...950
0,8% de C en peso	–	780...820
Aceros p. trabaj. en frío y en caliente	17350	950...1100
Aceros rápidos		1150...1230
Fundición gris	–	850...900

Tabla 1. Resumen de los procedimientos de tratamiento térmico

Temple	Revenido	Recocido	Tratamiento termoquím.	Temple p. envejecim.	Transform. bainita
Temple en toda la sección Temple superficial Temple de piezas carburadas (cementación)	Revenido de piezas templadas Revenido por encima de 500 °C para bonificar	Recocido de elim. tensiones Recocido de ablandamiento Recocido de cristalización Normalizado Recocido de difusión	Nitruración Nitrocarburación Carburación (cementación) Carbonitruración Borurado Cromurado	Recocido de disolución y almacenamiento en frío o en caliente	Transformación isotérmica en la etapa bainítica

Temple de las capas superficiales

El procedimiento se presta en especial para la fabricación de grandes series y puede ser adaptado para seguir la cadencia de las líneas de producción.

El temple está limitado a la superficie de las piezas, por lo que las alteraciones de las dimensiones y formas son mínimas. El calentamiento se efectúa mediante inducción eléctrica con corriente alterna de frecuencias medias o altas ("temple por inducción") o mediante un soplete de gas ("temple a la llama"). El calor para austenizar también puede ser transmitido por fricción ("temple por fricción") o por radiaciones de alta energía (p.ej. rayos de electrones o rayos láser). En la tabla 3 se muestra un resumen de la energía específica calórica de los distintos procedimientos.

El temple puede ser lineal o de superficie, con calentamiento en soporte fijo o con avance lento, así como también con o sin rotación de la pieza. Piezas simétricas de revolución se giran convenientemente, para garantizar un temple concéntrico. El enfriamiento brusco se efectúa por inmersión en baño o por chorro de producto refrigerante.

Tabla 3. Comparación de la densidad de potencia en el temple por inducción al calentar con diferentes fuentes de calor y profundidades de efecto (Duración de calentamiento 1 a 100 ms)

Fuente de calor	Densidad de potencia
Rayo láser	≈ 10 MW/cm²
Calentamiento por inducción	≈ 15 kW/cm²
Rayo de plasma	≈ 10 kW/cm²
Calentamiento por llama	≈ 1,0 kW/cm²
Convección en fusiones de sales	≈ 20 W/cm²
Convección con aire o gas protector	≈ 0,5 W/cm²
Intervalo de frecuencias	**Profundidad de efecto**
Impulso de alta frecuencia ≈ 27 MHz	0,05...0,5 mm
Impulso de alta frecuencia 400 a 2500 kHz	1,0...0,4 mm
Impulso de frecuencia media 3 a 10 kHz	8,0...5,0 mm

A causa de la gran rapidez de calentamiento se requieren temperaturas de 50 a 100 °C superiores a las que se utilizan en hornos. Mayoritariamente se aplica a aceros no aleadas con porcentajes en masa de carbono entre 0,35 y 0,65% o poco aleados (ver aceros apropiados en DIN 17 212). Pero también es muy usual para templar zonas marginales en aceros aleados de bonificación, aceros de rodamientos o fundiciones de hierro. En piezas bonificadas se puede combinar la solidez básica con una gran dureza superficial en lugares altamente solicitados (cantos de entalla, lugares de rodadura, transiciones de secciones).

Al templar zonas superficiales se producen normalmente tensiones particulares de compresión que permiten mayores solicitaciones, sobre todo en cargas oscilantes alternas (especialmente en piezas con entalladuras. Véase la figura).

La dureza superficial alcanzable puede ser estimada con la relación anterior. La dureza disminuye claramente desde la superficie hacia el núcleo. De la curva de transcurso de la dureza puede desprenderse la profundidad de temple Rht, que es la distancia desde la superficie a la cual la dureza en Vickers todavía es el 80% de la dureza en la superficie (véase DIN 50 190, parte 2ª).

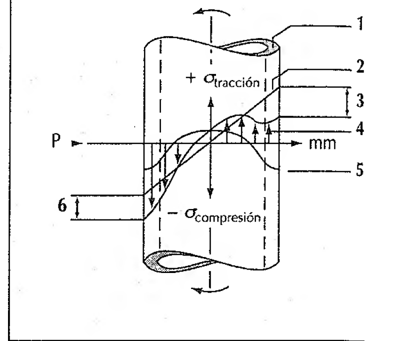
Temple bainítico

En este procedimiento el estado estructural al cual se quiere llegar es la bainita, la cual se caracteriza por una dureza algo inferior a la de la martensita, pero por otro lado con mayor tenacidad y variaciones menores del volumen específico.

En el temple bainítico se enfría, después de austenizar (véase "temple"), según la composición del material, a una temperatura de 200 a 350 °C con una velocidad suficiente y se mantiene esta temperatura hasta que haya terminado más o menos completamente la transformación estructural a bainita. A continuación puede enfriarse a discreción a la temperatura ambiente.

El temple bainítico es una excelente alternativa para piezas expuestas a riesgo de distorsión y/o desgarre a causa de su forma o para aquellas que se les exige una alta tenacidad a alta dureza.

Solicitación alternante cíclica después de endurecimiento superficial
+ σ Tracción, – σ Compresión; **1** *Capa templada,* **2** *Tensión de flexión,* **3** *Reducción de la tensión de tracción,* **4** *Tensión resultante,* **5** *Tensión propia,* **6** *Aumento de la tensión de presión*



Revenido

El revenido sirve para conferirle al material templado y frágil mayor tenacidad, reduciéndose el riesgo de grietas tardías después del temple o al rebajar en el acabado, debido a excesivas tensiones internas. Esto se consigue con la eliminación de carburos, con lo cual disminuye la dureza y aumenta la tenacidad.

Consta de un calentamiento entre 180 y 650 °C mantenido durante mín. una hora y enfriamiento a temperatura ambiente. Según la composición del material se consigue con un revenido a temperaturas superiores a 230 °C una transformación de una eventual austenita de resto en bainita y/o martensita.

En aceros no aleados o de baja aleación la dureza desciende en los revenidos a 180 °C entre 1 a 5 HRC. A temperaturas mayores se produce un descenso de la dureza característico para el material. En la figura con curvas características de revenido se representa este comportamiento para algunas calidades típicas de acero. Puede verse así que para aceros de alta aleación la dureza comienza a descender con temperaturas superiores a 550 °C.

La relación entre temperatura de revenido por un lado, y dureza, resistencia, límite elástico, estricción de rotura y alargamiento a la rotura o tenacidad por el otro, puede desprenderse para los distinto tipos de acero de las curvas correspondientes de revenido (véase p.ej. DIN 17 200).

Por el revenido de piezas templadas se vuelve a reducir su volumen específico. Según sea el efecto de revenido, también puede variar el gradiente de las tensiones propias en la sección de la pieza.

Hay que tener en cuenta que los aceros aleados con manganeso, cromo, manganeso y cromo, cromo y vanadio, o cromo y níquel, no deben ser revenidos en el intervalo de 350 a 500 °C porque podrían hacerse frágiles. Al enfriar desde temperaturas mayores, se debe pasar esta zona de forma rápida (para más indicaciones véase DIN 17 022, partes 1ª y 2ª).

Bonificado

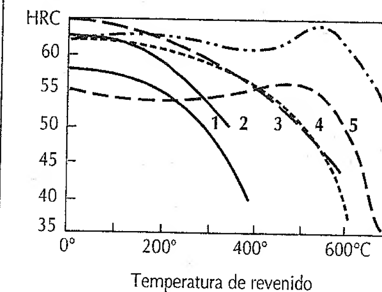
La combinación de temple y revenido por encima de los 500 °C se denomina bonificado. Se pretende con ello una relación óptima entre resistencia y tenacidad y se utiliza cuando precisa tenacidad o conformabilidad especialmente grandes.

En el bonificado hay que tener presente especialmente el peligro de aumento de la fragilidad.

Tratamiento termoquímico

Consiste en un recocido dentro de un medio que libera elementos químicos que se difunden en la pieza y cambian así la composición de la capa superficial. Para el tratamiento térmico del acero los elementos principales son el carbono, el nitrógeno y el boro.

Curvas de revenido características de diferentes aceros
1 *Acero bonificado no aleado (C 45),* **2** *Acero no aleado de trabajo en frío (C 80 W 2),* **3** *Aceros de baja aleación para trabajo en frío (105 WCr 6),* **4** *Acero aleado para trabajo en frío (X 165 CrV 12),* **5** *Acero para trabajo en caliente (X 40 CrMoV 51),* **6** *Acero rápido (S6-5-2)*



Carburación, carbonitruración y cementación

En la carburación se enriquece la capa superficial con carbono; en la carbonitruración simultáneamente con carbono y nitrógeno. Esto tiene lugar en el intervalo de temperaturas entre 850 y 1000 °C en fusión de sales, en granulado o en gas. El temple se realiza con enfriamiento rápido ya sea directo desde la temperatura de tratamiento (temple directo), o después del enfriamiento a la temperatura ambiente (temple sencillo) o a una temperatura intermedia apropiada (temple con transformación isotérmica) y vuelta a calentar a la temperatura de temple. Comprende la capa carburada o carbonitriturada y también el núcleo de estructura martensítica más o menos completa.

La temperatura de temple puede adecuarse a la capa con mayor contenido de C (temple superficial) o al núcleo no carburado (temple del núcleo) (véase DIN 17 022, parte 3ª).

La carburación o carbonitruración lleva a una concentración de carbono que disminuye desde la superficie de pieza hacia el núcleo (curva de carbono). Normalmen-

te se define como profundidad de carburación *At* la distancia desde la superficie hasta aquel punto en el cual la proporción de masa de carbono aún tiene un 0,35%.

La duración del carburado o carbonitrurado se rige por la profundidad necesaria de carburación y depende de la temperatura y del efecto del donante de carbono. Puede ser estimada de forma aproximada por la relación:

$$At = K \cdot \sqrt{t} - D/\beta \text{ en mm}$$

donde *K* depende de la temperatura y de la cantidad de carbono. Por ejemplo en el gas está entre 0,3 y 0,6; el factor de corrección *D/B* está por lo general entre 0,1 y 0,3 mm; el tiempo *t* se ha de expresar en horas.

Normalmente se intenta conseguir en la superficie una dureza de 750 HV (correspondiente a 65 HRC). Para ello hace falta en la superficie una concentración mínima del 0,60% en masa. Un contenido mayor de C puede llevar a austenita residual y/o inclusiones de carburos, lo cual puede limitar las propiedades de uso de piezas cementadas. Por ello el control de los niveles de carbono en el gas, y por tanto el contenido de carbono de las piezas, tiene una importancia especial.

El gradiente que define la relación entre la dureza y la profundidad se corresponde con la curva de concentración del carbono. El gradiente de dureza se utiliza para determinar la profundidad de cementación *Eth*. Según DIN 50 190, parte 1ª, es la distancia desde la superficie hasta el punto de la capa superficial en que la dureza Vickers es aún como mínimo de 550 HV.

Por lo general existen tensiones de compresión en la capa superficial y de tracción en el núcleo, con lo que se obtiene una mayor capacidad de carga en las solicitaciones alternativas.

El nitrógeno absorbido en la carbonitruración mejora la templabilidad de la capa superficial y la estabilidad del revenido, así como la resistencia al desgaste. Para más indicaciones sobre la realización práctica de la cementación, véanse DIN 17 022, Parte 3 o la hoja informativa del Instituto de Orientación para la aplicación del acero.

Nitruración y nitrocarburación

La nitruración (o cementación al nitrógeno) es un tratamiento térmico que enriquece la capa superficial con nitrógeno, y, en la nitrocarburación, simultáneamente con nitrógeno y carbono a temperaturas entre 500 y 600 °C para casi todos los materiales de hierro. A causa de la temperatura de tratamiento relativamente baja no tiene lugar ninguna transformación de la estructura en el temple, con lo cual son pequeñas las variaciones de forma y de medidas que cabe esperar.

El enriquecimiento con nitrógeno origina un fortalecimiento de las zonas marginales, aumentando la resistencia al desgaste, a la corrosión y una mayor resistencia a las solicitaciones alternantes cíclicas.

La capa nitrurada se compone de la exterior denominada capa combinada, de algunos mm de espesor y según el tipo de acero con una dureza de 700 a más de 1200 HV, y de la capa de difusión subyacente, de algunas décimas de mm de espesor. El espesor de la capa resulta de la temperatura y la duración del tratamiento. El proceso produce un gradiente de durezas en la sección de la pieza (de forma parecida a la que se da en el temple de zonas marginales o de cementación). Este gradiente se puede utilizar para calcular la profundidad de dureza de nitruración *Nht*. Ésta es según DIN 50 190, parte 3ª, la distancia desde la superficie hasta el punto en que la dureza es todavía 50 HV mayor que la dureza del núcleo.

La proporción de hasta 10% en masa de nitrógeno en la capa de unión es determinante para el comportamiento al desgaste y a la corrosión; para la resistencia a solicitaciones alternantes cíclicas lo son la profundidad de dureza de nitruración y la dureza marginal (más detalles en DIN 17 022, parte 4ª, o la hoja informativa 447 del Centro de Información del Acero, Düsseldorf).

Borurado

En este tratamiento termoquímico se enriquece la capa superficial de los materiales ferrosos con boro. Según la duración y temperatura (normalmente entre 800 y 1000 °C) del tratamiento se forma bajo la superficie de la pieza una capa de unión de boruro de hierro de 30 µm a 0,2 mm

de espesor, con una dureza de 2000 a 2500 HV.

El borurado es especialmente eficaz contra desgaste por abrasión. Pero debido a la alta temperatura del tratamiento y las variaciones consiguientes de forma y medidas, solamente es aplicable a piezas en las que se acepten mayores tolerancias.

Recocido

Mediante el recocido se mejoran determinadas propiedades de uso y de elaboración. Consiste en un calentamiento a una temperatura apropiada, un mantenimiento suficientemente largo de esa temperatura y un enfriamiento adecuado a la temperatura ambiente. En la tabla 1 se indican las variaciones del proceso según sean las variaciones necesarias de las propiedades.

Recocido de reducción de tensiones

Se hace para reducir al mínimo las tensiones propias de componentes, piezas, herramientas o de piezas en bruto y se realiza, según la composición del material, a temperaturas entre 450 y 650 °C.

Después de un recocido de 0,5 a 1 hora, debe enfriarse hasta temperatura ambiente lo más lentamente posible para evitar la formación de nuevas tensiones.

Recocido de recristalización

El recocido de recristalización se efectúa en piezas conformadas sin arranque de viruta, para eliminar los endurecimientos producidos y dar al grano una nueva formación y facilitar así una ulterior conformación.

La temperatura requerida depende de la composición del material y por el grado de conformación; para el acero está entre 550 y 750 °C.

Recocido de ablandamiento

La misión del recocido de ablandamiento es facilitar la mecanización con o sin arranque de viruta de piezas endurecidas en tratamientos térmicos.

La temperatura requerida depende de la composición del material y del grado de conformación; para acero está entre 650 y 720 °C; para los metales no ferrosos es más baja.

Si se tiene que alcanzar una estructura con una formación granular de los carburos, entonces se realiza una "esferoidización de la cementina". Si se parte de una estructura martensítica o bainítica, se obtiene una distribución especialmente homogénea de los carburos.

Normalizado

El normalizado consiste en calentar a temperatura de austenización y enfriar lentamente hasta temperatura ambiente. Se obtiene una estructura que consta de ferrita y perlita en los aceros no aleados o de baja aleación. Se utiliza principalmente para hacer más finas las estructuras de grano grueso, evitar la formación de grano grueso en materiales poco deformados y conseguir una distribución lo más homogénea posible de la ferrita y la perlita.

Endurecimiento por precipitación

Combina el tratamiento térmico de solubilización con el envejecimiento a temperatura ambiente. La pieza se calienta y se mantiene a una temperatura que permita la solubilización de los componentes estructurales precipitados; luego se enfría rápidamente a temperatura ambiente para formar una disolución supersaturada. El proceso de envejecimiento comprende uno o varios ciclos en los cuales el material es calentado a temperaturas por encima de la ambiente (envejecimiento en caliente). En este proceso se forman una o varias fases (es decir, enlaces metálicos entre ciertos elementos de las aleaciones) que precipitan en la matriz.

Las partículas precipitadas aumentan la resistencia y la dureza de la estructura de base. Las propiedades alcanzadas vienen determinadas por la temperatura y la duración del envejecimiento, en el que casi siempre después de pasar por un máximo vuelven a disminuir la resistencia y la dureza.

El endurecimiento se utiliza principalmente para aleaciones de metales no ferrosos, pero también se puede aplicar a aceros endurecibles (aceros al níquel con bajo contenido en carbono).

Dureza

Medición de la dureza

La dureza es una propiedad de las substancias sólidas que se define como la resistencia que oponen a la deformación. En materiales metálicos se utiliza la dureza para estimar propiedades mecánicas tales como resistencia, aptitud para el mecanizado con arranque de virutas, conformabilidad o resistencia al desgaste. Según DIN 50 150 la dureza puede ser recalificada en resistencia a la tracción. La medición es casi sin destrucción.

Para la determinación de su valor se suele medir el tamaño de la deformación o profundidad de la huella que deja un elemento de prueba dado bajo una carga específica.

Se distingue entre medición estática y medición dinámica. En la primera se mide la impresión permanente de la presión de un cuerpo de prueba definido. Los procedimientos normalizados son el Rockwell, el Brinell y el Vickers, para materiales metálicos. En la medición dinámica se utiliza como medida para la dureza la huella de un cuerpo medidor determinado que aumenta la fuerza contra la pieza que hay que medir y golpea con la fuerza final de prueba.

Otro procedimiento es la deformación por ralladura con un cuerpo de comprobación más duro, tomando el ancho de la ralladura como medida de la dureza. En la figura se comparan los campos de aplicación de los procedimientos de medición de dureza Rockwell, Brinell y Vickers.

Dureza Rockwell (DIN 50 103)

Este procedimiento resulta especialmente apropiado para el ensayo en serie de piezas metálicas. El penetrador de acero o de diamante se coloca sobre la pieza que hay que comprobar, con una carga inicial fijada, y por lo menos durante 30 s se carga con diferentes pesos. La profundidad de la impresión permanente *e* en mm, después de la carga es una medida del valor numérico de la dureza Rockwell (Tabla 1).

La superficie que haya que comprobar debe ser bien lisa y plana (intervalo de durezas = $R_{max} \leq 1{,}2$ a $3{,}4$ μm). Para zonas con un radio de curvatura de menos de 20 mm debe corregirse el valor encontrado, según sea la dureza.

El grueso de la pieza de prueba o la capa "dura" es la que determina la posibilidad de utilizar uno u otro de los procedimientos de medición concretos (véase la figura 3 de DIN 50 103). La notación detrás del valor numérico es la abreviatura del procedimiento empleado, por ejemplo: 65 HRC, 76 HR 45 N, etc. El inseguridad de medida del procedimiento Rockwell C es de aprox. ± 1 HRC.

Tabla 1. Resumen del procedimiento de ensayo Rockwell

Abreviatura	Cuerpo penetrado	Carga inicial N	Garga final de prueba N	Valor numérico dureza (*e* profundidad de penetración del penetrador)	
HRC	Cono de diamante	98 ± 2	1471 ± 9	100 – *e*/0,002	20...70
HRA			588 ± 5		60...881
HRB	Bola de acero		980 ± 6,5	130 – *e*/0,002	35...100
HRF			588 ± 5		60...100
HR 15 N HR 30 N HR 45 N	Cono de diamante	29,4 ± 0,6	147 ± 1 294 ± 2 441 ± 3	100 – *e*/0,001	66...92 39...84 17...75
HR 15 T HR 30 T HR 45 T	Bola de acero	3 ± 0,06	15 ± 0,1 30 ± 0,2 45 ± 0,3		50...94 10...84 0...75

La ventaja del procedimiento Rockwell es que la pieza a ser comprobada se prepara fácilmente y la medición se lleva a cabo de forma rápida y completamente automatizada.

Se pueden producir errores en la medición por sacudidas o vibraciones sobre el aparato de medición, o por desplazamiento de la pieza a comprobar y del cuerpo de penetración durante la medición o por daños en el diamante de medición.

Dureza Brinell (DIN 50 351)

El procedimiento se utiliza para piezas metálicas de poca dureza o dureza media. El penetrador es una bola de metal duro (o de acero templado) y se comprime con diferentes cargas *F* por lo menos durante 15 s[1] contra la superficie de la pieza a medir. El diámetro de la impresión permanente del penetrador se mide con una lupa graduada y es una medida de la dureza Brinell que se lee en una tabla o que se calcula por la fórmula:

$$\text{Dureza Brinell} = \frac{0{,}204 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{HB}$$

F Carga en N
D Diámetro de la bola en mm
d Diámetro de la impresión en mm

[1] Para el plomo, cinc, etc., por lo menos 30 s.

Comparación de los campos de dureza de los diferentes procedimientos de medición
Los números en los límites de cada campo son valores de dureza de los procedimientos correspondientes
Procedimientos de medición HB con niveles de carga 30(1); 10(2); 5(3); 2,5(4) y 1,25(5)

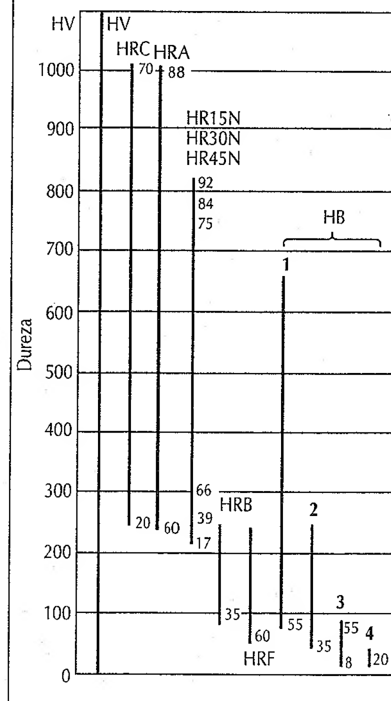


Tabla 2. Utilización del ensayo de dureza Brinell

Diámetro de la bola *D* mm	Carga de prueba *F* N Para el nivel de carga 30	10	5	2,5	1,25
10	29420	9807	4903	2452	980,7
5	7355	2452	1226	612,9	245,2
2,5	1839	612,9	306,5	153,2	61,3
1	294,2	98,1	49,0	24,5	9,81
Intervalo alcanzable de durezas HB	55...650	35...200	< 55	8...55	3...20
Aplicación para:	Acero, fundición gris, cobre, aleaciones de cobre, metales ligeros y sus aleaciones	Fundición gris, aleaciones de cobre, metales ligeros y sus aleaciones	Cobre, aleaciones de cobre, metales ligeros y sus aleaciones	Metales ligeros y sus aleaciones	Plomo, estaño

Las cargas de la prueba van desde 9,81 N hasta 29420 N. Los valores de medición, determinados con bolas de diámetros diferentes, sólo son comparables con reservas. Debe escogerse la bola más grande posible y el nivel de carga, de modo que el diámetro de la impresión de la bola esté entre (0,2 a 0,7) · D. La tabla 2 indica el intervalo de durezas medible para diversos grupos de materiales (según DIN 50 351).

Al valor numérico de la dureza Brinell hay que agregar el signo abreviado del procedimiento, el material de la bola (W para metal duro, S para acero), el diámetro de la bola y la carga de comprobación en N multiplicada por 0,102, p.ej.: 250 HB 2,5/187,5.

Por encima de 450 HB sólo se debe medir con una bola de metal duro, para evitar errores por deformación de la bola.

Con carga de ensayo mayor pueden obtenerse huellas relativamente grandes, de manera que se pueden aplicar a materiales con estructura irregular. Tiene la ventaja de que en el acero la dureza Brinell guarda mucha relación con la resistencia a la tracción.

El intervalo de aplicaciones del método Brinell es limitado por el espesor de la pieza a comprobar (véase DIN 50 351) y por el material de la bola. Los preparativos para el ensayo son mayores que en los procedimientos Rockwell. La medición necesariamente visual de las diagonales de la huella así como las huellas no uniformes pueden llevar a mediciones erróneas.

Dureza Vickers

El procedimiento puede utilizarse para todos los materiales metálicos de cualquier dureza, especialmente para piezas pequeñas o delgadas así como para piezas con capa cementada o nitrurada. Como penetrador se utiliza una pirámide cuadrangular de diamante de 136° de ángulo en el vértice, que se aprieta con diversas cargas sobre la pieza a ensayar.

La diagonal d de la impresión permanente en forma de rombo, después de retirar el penetrador, se mide por medio de una lupa graduada y es una medida de la dureza Vickers, que se obtiene de tablas o se calcula por la fórmula:

$$\text{Dureza Vickers} = 0{,}189 \cdot F/d^2 \text{ (HV)}$$

F Carga en N
d Diagonal de la impresión en mm.

En la tabla 3 se dan los niveles de carga fijados en DIN 50 133.

En la notación se da el valor numérico y a continuación el símbolo abreviado HV, así como el valor numérico de la carga F en N multiplicada por 0,102 y, a veces, separado por una barra inclinada, la duración de actuación de la carga en s (si es durante un tiempo superior a 15 s), por ejemplo: 700 HV 10/25.

La superficie de la pieza a ensayar debe ser lisa ($R_{max} \leq 0{,}005 \cdot d$) y plana. En el caso de superficies curvas, su influencia en el valor de la dureza obliga a una corrección según DIN 50 133. La carga de prueba se rige por la densidad de la pieza que hay que ensayar, o por la capa "dura" superficial (véase la figura 2 en DIN 50 133). Según la experiencia práctica la imprecisión de la medida es de 125 HV. Los valores de dureza, si son geométricamente semejantes, son dependientes de la carga.

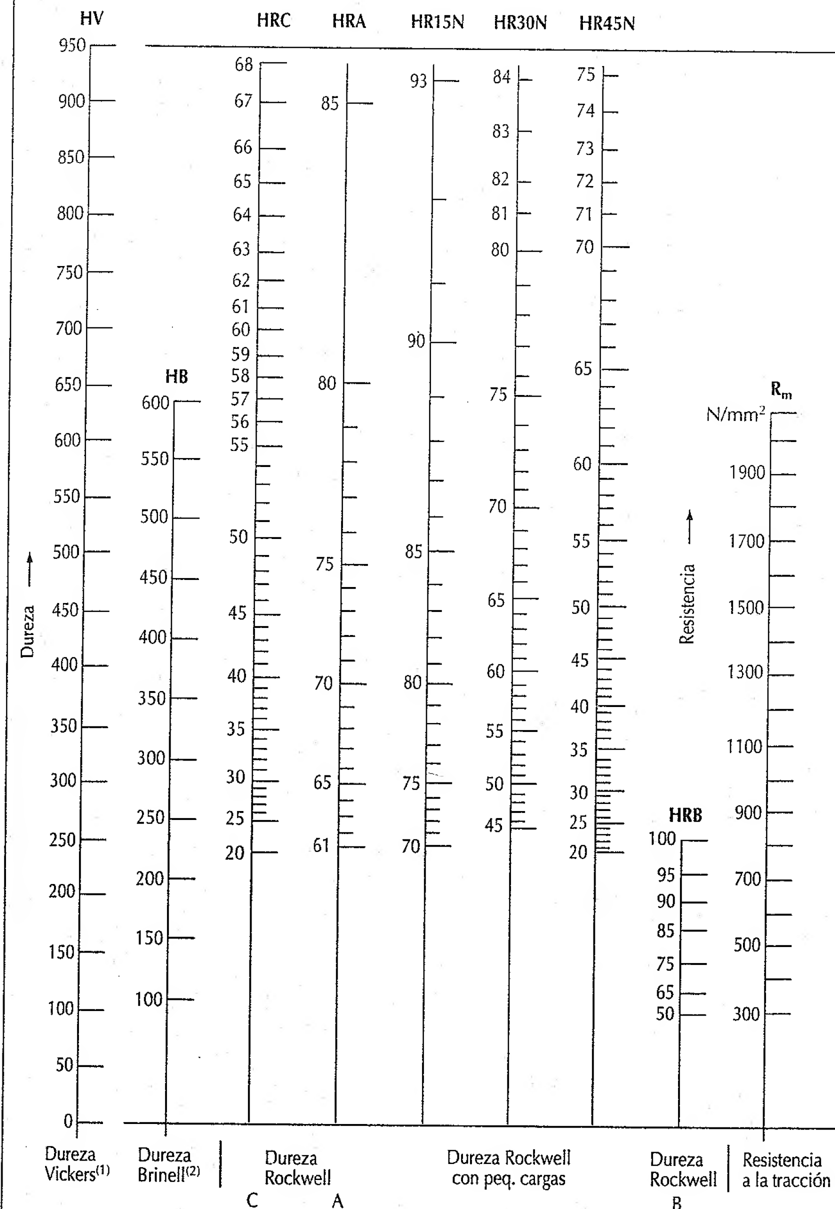
Una gran ventaja del procedimiento es la posibilidad casi ilimitada de su aplicación tanto a piezas delgadas como capas. También pueden medirse con muy poca carga componentes de una estructura. Hasta aprox. 350 HV hay coincidencia numérica con la dureza Brinell.

Para evitar errores de medición hay que alisar suficientemente la superficie de la pieza a comprobar. Para la exactitud son de aplicación en principio los mismos puntos de vista que para el método Brinell. Sin embargo, la medición es muy sensible

Tabla 3. Resumen de las etapas de carga en la dureza Vickers

Abreviatura	HV0,2	HV0,3	HV0,5	HV1	HV2	HV3	HV5	HV10	HV20	HV30	HV50	HV100
Carga N	1,96	2,94	4,9	9,8	19,6	29,4	49	98	196	294	490	980

Comparación de los valores de dureza con los de resistencia según DIN 50150



(1) Carga ≥ 98 N.
(2) Nivel de carga 30.

a sacudidas del aparato de medición. Los cuerpos de comprobación son más caros que las bolas del método Brinell.

Dureza Knoop

Este procedimiento es parecido al Vickers. Se emplea principalmente en los países anglosajones para el ensayo de capas delgadas.

El penetrador tiene una forma tal que produce una impresión en forma de pequeño rombo. La diagonal mayor es siete veces más larga que la menor. Sólo se mide la diagonal mayor. La carga es de menos de 9,8 N. El valor de la dureza se calcula por:

Dureza Knoop = 1,451 · F/d^2 (HK)

F Carga en N y
d Diagonal mayor en mm.

La diagonal, que es unas 2,8 veces más larga que la de las impresiones Vickers, se puede medir con menos inexactitud; la profundidad de penetración es 1/3 menor que en la medición de dureza Vickers, por lo que pueden medirse piezas o capas más delgadas; haciendo impresiones Knoop en diferentes direcciones se puede determinar mejor la anisotropía en el material de la pieza.

Como desventaja hay que considerar que la superficie tiene que colocarse muy exactamente y perpendicular al eje de carga. El procedimiento no está normalizado en Alemania y solamente pueden utilizarse cargas hasta de 9,8 N. No tiene ninguna relación con la dureza Vickers.

Dureza Shore (DIN 53 505)

Este procedimiento se utiliza principalmente para el ensayo de gomas y plásticos blandos. El penetrador es una punta de acero (Ø 1,25 mm), que se comprime contra la superficie de la pieza a ensayar por medio de la fuerza de un muelle. El alargamiento del muelle (carrera del muelle) es la medida de la dureza Shore.

En el procedimiento Shore D la carga inicial del muelle es de 0,55 N; la punta de acero presenta la forma de tronco de cono (ensayo de goma dura). La constante elástica c es de 4 N/mm.

En el procedimiento Shore A se mide sin carga inicial del muelle y con una punta de acero cónica redondeada. La constante elástica del muelle c es de 1 7,8 N/mm. En este caso, 0,025 mm de alargamiento del muelle corresponden a 100 unidades Shore.

Dureza por presión de bola

(DIN 53 456)

Este procedimiento es el método corriente para termoplásticos, termoestables y en parte para la goma dura. El penetrador es una bola de acero templado y pulida (Ø 5 mm). Se comprime sobre la superficie de la pieza que se ensaya, que debe tener un grueso mínimo de 4 mm, con una carga inicial de 9,81 N, que luego se aumenta a 49, 132, 358 ó 961 N, y a los 30 s se mide la profundidad de la huella y se indica analógicamente. La fuerza de prueba F debe escogerse de modo que se obtengan profundidades de huella h, entre 0,15 y 0,35 mm.

La dureza por compresión de bola se define como la relación entre la fuerza de prueba y la superficie de la impresión medida. Se lee en tablas o se calcula por la fórmula:

$$\text{Dureza por compresión de bola} = \frac{0{,}21 \cdot F}{1{,}25 \cdot \pi \cdot (h - 0{,}04)} \,\text{N/mm}^2$$

F fuerza de prueba en N
h profundidad de impresión en mm.

Dureza escleroscópica

Se trata de un procedimiento dinámico de medición, especial para piezas grandes y pesadas. El principio consiste en medir la altura del rebote (energía de choque) de un cuerpo de acero con punta de diamante o de metal duro, que cae desde una altura determinada sobre la superficie que hay que medir, indicando dicha altura como medida de la dureza.

El procedimiento no está normalizado y no tiene relación con otros procedimientos de medición de durezas.

Tolerancias

Relaciones

En los planos basados en normas DIN sobre tolerancias y ajustes y en los cuales no figuran otras normas (p.ej. principio de independencia según ISO 8015), es válida en principio el análisis de envolvente para los diferentes elementos de forma. El concepto de envolvente se basa en la comprobación calibres según Taylor, que especifica que la máxima medida del material dentro de la tolerancia no debe sobrepasar la envolvente en ningún punto.

No es posible fabricar piezas geométricamente ideales y por ello para su fabricación se indican medidas límite (tolerancias de medidas).

En DIN 7167 se incluyen todas las tolerancias de forma, entre ellas las de paralelismo, de posición y de planitud, así como las tolerancias dimensionales. La tolerancia de forma puede fijarse a discreción dentro de la tolerancia de medida (ver figura).

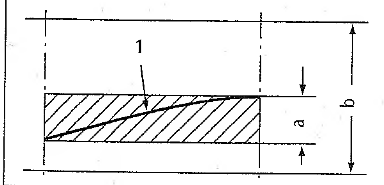
Para las siguientes tolerancias de posición no se define la máxima dimensión de la envolvente en la máxima dimensión del material:

Tolerancia de perpendicularidad, de inclinación, de simetría, de coaxialidad y de concentricidad. Para estas tolerancias de posición son necesarias indicaciones directas en el plano o bien las tolerancias genéricas.

Entre tolerancia de medida y profundidad de rugosidad no existe una relación generalmente válida. (Valor indicativo: $R_z \leq 0{,}5 \cdot T$.)

ISO International **O**rganization for **S**tandardization

Posición de tolerancia
1 *Forma real*, a *Tolerancia de forma*, b *Tolerancia de medida*



Sistema ISO para diferencias de medidas y ajustes

Las clases de tolerancias ISO se designan mediante letras (para medidas básicas) y cifras (para grados básicos de tolerancias).

Letras, de A a la Z. Indican la ubicación del campo de tolerancia con respecto la línea cero; letras minúsculas para ejes; letras mayúsculas para agujeros.

Cifras, de 01 a 18, el tamaño del grado de tolerancia.

Los márgenes de tolerancia ISO para ejes redondos y taladros se pueden componer, si se desea, para ajustes, pero se prefieren los sistemas de ajuste de agujero único y de eje único.

Agujero único: Las discrepancias básicas para todos los agujeros son iguales; los diversos ajustes se obtienen seleccionando los ejes con las discrepancias correspondientes.

Eje único: Las discrepancias básicas de todos los ejes son iguales; los diversos ajustes se obtienen seleccionando los agujeros con las discrepancias correspondientes.

Con la selección de las discrepancias de ISO 286 se pueden formar los más usuales ajustes holgados, indeterminado y de aprieto.

Ejemplo para clase de tolerancia: H7
H medida básica
7 grado de tolerancia.

Tolerancias de forma y de posición

Las tolerancias de forma y de posición se deben prescribir solamente cuando son necesarias (p.ej. en razón de los requerimientos funcionales, la intercambiabilidad y posible circunstancias de fabricación).

La tolerancia de forma y de posición de un elemento define la zona dentro de la cual dicho elemento (superficie, eje o línea generatriz) tiene que estar ubicado.

El elemento tolerado puede tener dentro de la zona de tolerancia cualquier forma y cualquier dirección. La tolerancia se aplica a la longitud total o la superficie total del elemento tolerado.

La anotación en los planos es mediante símbolos (ver tabla).

Símbolos para propiedades toleradas

Propiedades		Símbolos
Rectitud	(1)	—
Planitud		⏥
Redondez (forma de círculo)		○
Cilindricidad		⌭
Perfil, cualquier línea		⌒
Perfil, cualquier superficie		⌓
Paralelismo	(2)	//
Perpendicularidad		⊥
Inclinación		∠
Posición	(3)	⌖
Concentricidad/coaxialidad		◎
Simetría		⌯
Juego	(4)	↗
Juego total		⌰

(1) Tolerancia de forma, (2) Tolerancia de dirección
(3) Tolerancia de posición, (4) Tolerancia de juego

Desviaciones de figura

El concepto de "desviación de figura" comprende todas las desviaciones de la superficie real de la figura geométrica ideal.

Según sea la finalidad de uso de una superficie, pueden ser de especial importancia para su comportamiento funcional sólo las desviaciones de forma, sólo las desviaciones de aspereza y ondulación o la totalidad de todas las desviaciones de figura. Para distinguir entre las diferentes desviaciones de figura, DIN 4760 contiene un sistema de orden con ejemplos para el tipo de desviaciones y para la causa de su origen:

Desviaciones de figura de primer orden

Desviaciones de forma. Son desviaciones de figura de primer orden que se pueden constatar observando la superficie en toda su extensión. La relación entre las distancias de desviación de forma y la profundidad es generalmente > 1000 : 1.

Símbolos adicionales

Descripción		Símbolos
Caracterización del elemento tolerado	directa	
	con letras	
Caracterización de la referencia	directa	
	con letras	A A
Lugar de referencia		Ø2 / A1
Medida exacta teórica		50
Zona de tolerancia proyectada		(P)
Condición máxima del material		(M)

Desviaciones de figura de 2° a 5° orden

Ondulaciones son desviaciones de figura de 2° orden. Se determinan como desviaciones de figura, que aparecen principalmente de forma periódica en la superficie real, en una zona de la superficie real del elemento de forma.

Asperezas son desviaciones de figura de 5° orden con desviaciones de figura repetitivas regular o irregularmente, cuyas distancias suponen solamente un pequeño múltiplo de su profundidad.

Magnitudes características de rugosidad

DIN 4762 (ISO 4287/1) contiene las definiciones genéricas de las magnitudes de la rugosidad superficial. La industria utiliza preferentemente las magnitudes de medida R_a, R_z o R_{max} con condiciones de medición claramente definidas según DIN 4768. La directiva VDI/VDE 2601 de recomendaciones adicionales para la selección de magnitudes características para diferentes casos funcionales.

Para la descripción diferenciada de la finura en fino de una superficie pueden determinarse de forma separada como magnitudes características el sector de puntas de perfil, el sector núcleo de perfil o el sector de ranuras de perfil.

Profundidad de la rugosidad

La profundidad de rugosidad es una magnitud que expresa la distancia entre las puntas máximas del perfil y su valle inferior, pero es inapropiada debido a puntas de perfil individuales que sobresalen y que no tienen importancia para la función.

Valor de la rugosidad media

El valor de la media aritmética de la rugosidad R_a está muy difundido internacionalmente, pero es poco expresivo e insensible a la variación de las propiedades microgeométricas. R_a es el valor medio aritmético de los valores absolutos de todas las ordenadas del perfil dentro del tramo total de medición l_m:

$$R_a = 1/l_m \int |y(x)|\, dx$$

Profundidad media de rugosidad

La profundidad media de la rugosidad R_z es la media aritmética de los valores z_1 a z_5 del perfil filtrado (magnitud característica preferente).

Profundidad máxima de rugosidad

La profundidad máxima de rugosidad R_{max} es la profundidad individual mayor dentro del tramo total de medición l_m. Suele ser necesario su conocimiento para superficies estancas que han de soportar presiones.

Profundidad de rugosidad del núcleo

La profundidad de rugosidad del núcleo R_k es la del perfil después de recortar las puntas de perfil y rayas profundas.

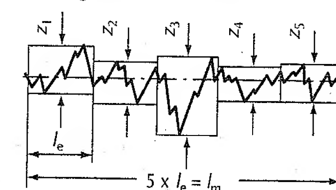
Altura reducida de puntas

La altura reducida de puntas R_{pk} caracteriza la proporción de las puntas de perfil que sobresalen del perfil del núcleo (comportamiento de adaptación).

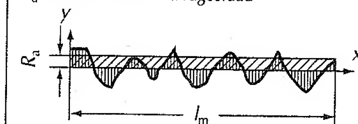
Profundidad reducida de rayas

La profundidad reducida de rayas R_{vk} caracteriza la proporción de rayas de perfil que se introducen del perfil de núcleo hacia el interior del material.

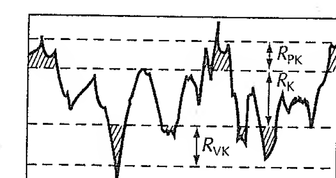
Profundidad máxima y media de rugosidad
l_e Tramos individuales de medición
l_m Tramo total de medición
R_{max} Profundidad máxima de rugosidad
z_1 a z_5 Rugosidades individuales



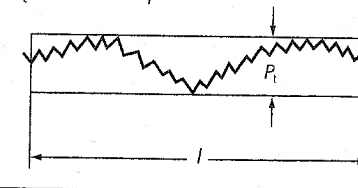
Valor medio de la rugosidad
l_m Longitud de evaluación
R_a Valor medio de la rugosidad



Profundidad de la rugosidad del núcleo
R_k Profundidad de la rugosidad del núcleo, R_{pk} Altura reducida de puntas, R_{vk} Altura reducida de rayas



Profundidad del perfil
l Tramo de referencia
P_t Profundidad de perfil



Profundidad del perfil

La profundidad del perfil P_t es la del perfil no filtrado dentro del tramo de referencia de medición. P_t debería usarse solamente cuando por razones concretas deba evaluarse la suma de las desviaciones de figura de 1er a 4° orden, o cuando la superficie a medir sea tan pequeña que no se pueda aplicar las condiciones de medición de R_z.

Cojinetes de fricción y de rodamiento

Cojinetes de fricción

El campo de los cojinetes de fricción va desde aquellos que casi siempre mantienen la separación total de las superficies de rozamiento por medio de una película de lubricante (rozamiento líquido), pasando por autolubricantes, que trabajan principalmente en la zona de rozamiento mixto (es decir, las fuerzas portantes son absorbidas en parte por contacto entre cuerpos sólidos de las superficies de rozamiento), hasta los cojinetes de rozamiento en seco, que trabajan en la zona de rozamiento de cuerpos sólidos (es decir, totalmente sin intervención de capas lubricantes líquidas), y que a pesar de ello tienen una vida suficientemente larga.

Los tipos de cojinetes de fricción hidrodinámicos que se usan principalmente en los vehículos son los radiales cilíndricos rectos para soporte del cigüeñal y del árbol de levas y del turbocompresor. Los cojinetes axiales sirven casi siempre sólo para guía axial sin fuerzas elevadas.

Cojinetes de fricción hidrodinámicos

Símbolos (DIN 31 652)

Denominación	Símbolo	Unidad
Ancho portante cojinete	B	m
Diám. inter. cojinete (medida nominal)	D	m
Diámetro del eje (medida nominal)	d	m
Excentricidad (desplazam.) del árbol respecto al eje del cojinete	e	m
Fuerza sobre cojinete (carga)	F	N
Espesor mín. película lubric.	h_0	m
Presión local sobre pel. engrase	p	Pa = N/m²
Carga específica $\bar{p} = F/(B \cdot D)$	$\bar{p}$	Pa
Juego cojin.	s	m
Índice de Summefeld	So	–
Excentr. relat. 2 e/s	ε	–
Viscosidad dinámica efectiva del lubricante	η_{eff}	Pa · s
Juego relativo cojinete $\psi = s/D$	ψ	–
Ángulo desplazamiento	β	°
Velocidad angular hidrodiám. efectiva	ω_{eff}	s⁻¹

Un cojinete de fricción hidrodinámica es de buen funcionamiento, cuando es a prueba de las siguientes solicitaciones:
- Desgaste (suficiente separación mediante lubricante de las partes rozantes).
- Carga mecánica (margen grande hasta la resistencia máxima del material del cojinete).
- Solicitación térmica (consideración de la resistencia en caliente del material del cojinete y la relación viscosidad-temperatura del lubricante).

Para la resistencia portante, es decir, para valorar la formación de la capa lubricante, es característico el índice adimensional de Sommerfeld So:

$$So = F \cdot \psi^2/(D \cdot B \cdot \eta_{eff} \cdot \omega_{eff})$$

Cuando el índice de Sommerfeld So crece, aumenta la excentricidad relativa ε y con ello disminuye el espesor mínimo de película lubricante h_0

$$h_0 = (D - d)/2 - e = 0{,}5\ D \cdot \psi \cdot (1 - \varepsilon)$$

con la excentricidad relativa

$$\varepsilon = 2e/(D - d)$$

Tabla 1. Orden de magnitud de los coeficientes de rozamiento para diferentes tipos de fricción

Los coeficientes de rozamiento dados son valores aproximados y sirven únicamente para comparar los diferentes tipos de fricción.

Tipo de fricción	Coef. rozam. f
Rozamiento cuerpos sólidos	0,1...> 1
Rozamiento mixto	0,01...0,1
Rozamiento líquido	0,01
Rozam. rodad. en cojin. rodam.	0,001

Tabla 2. Valores experimentales de la carga específica máxima admisible para cojinetes

Material del cojinete	Carga específ. máx. admis. $\bar{p}_{lim}$ en N/mm²
Aleac. Pb y Sn (met. blancos)	5...15
Bronces de plomo	7...20
Bronces de estaño	7...25
Aleaciones de AlSn	7...18
Aleaciones de AlZn	7...20

El índice de Sommerfeld sirve también para determinar el coeficiente de rozamiento en el cojinete y calcular con él la potencia de rozamiento y solicitación térmica (véase DIN 31 652; Guía indicativa VDI 2204).

Puesto que los cojinetes hidrodinámicos funcionan en parte en el campo del rozamiento mixto, deben soportar cierto grado de suciedad sin pérdida de funcionamiento, y especialmente en los motores de pistones que están además altamente solicitados tanto dinámica como térmicamente, el material del cojinete debe cumplir toda una serie de exigencias en parte contrapuestas:
- Flexibilidad (reducción portante de los bordes por deformación plástica sin pérdida de vida).
- Impregnabilidad del lubricante.
- Capacidad de incrustación (Absorción de partículas de suciedad en la superficie de apoyo, sin que sufra desgaste el cojinete o árbol).
- Resistencia al desgaste (en el rozamiento mixto).
- Resistencia al gripado (contra el agarrotamiento o soldadura con el material del árbol a elevadas presiones superficiales y elevada velocidad de rozamiento).
- Propiedades de resbalamiento (resistencia al gripado).
- Facilidad de puesta en marcha (combinado de impregnación, resistencia al desgaste y capacidad de absorción de incrustaciones)
- Capacidad de carga mecánica.
- Resistencia a la fatiga (con cargas alternantes, especialmente con elevada solicitación térmica).

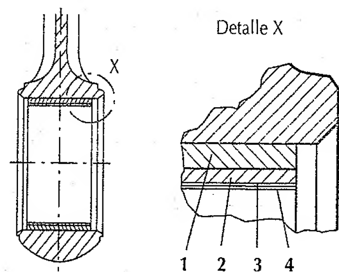
Si para un cojinete dado (por ejemplo, el del bulón del pistón) aparecen fuertes cargas y al mismo tiempo pequeñas velocidades de rozamiento, lo más interesante es que posea valores elevados al máximo posible en lo que respecta a la resistencia a la fatiga y al desgaste, con preferencia a la resistencia al agarrotamiento o gripado. Los materiales para cojinetes que se aplican en esos casos son los bronces duros, como los de estaño o plomo (tabla 3).

Las cargas que sufren los cojinetes de biela y de cigüeñal de los motores de combustión son múltiples por sus grandes cargas no estacionarias y grandes velocidades de rozamiento. Para ello han resultado ser muy útiles los **cojinetes de varias capas**, especialmente el de tres materiales.

Otro aumento de la vida de los cojinetes de cigüeñales se consigue con ayuda de los **cojinetes estriados** en los cuales hay unas estrías finas en la dirección de giro de las superficies rodantes rellenas, con una capa blanda (capa galvánica) parecida al cojinete de tres materiales. Junto a las mismas están los peines de metal ligero más duro.

Se consiguen proporciones de desgaste pequeñas y una elevada resistencia a la fatiga y capacidad de absorción o penetración de la suciedad del lubricante.

Cojinete de varias capas
(Constitución de un cojinete de tres capas)
1 Casquillo de asiento de acero, 2 Bronce al plomo fundido (0,4 mm), 3 Capa de níquel entre el bronce al plomo y el metal blanco (1...2µm), 4 Capa de metal blanco depositada galvánicamente (Overlay, por ejemplo, 20µm)



Corte de un cojinete estriado
(Patente MIBA). Superficie rodante con finas estrías en la dirección de giro
1 Metal ligero resistente al desgaste, 2 Capa de rodadura blanda, 3 Deposición galvánica de níquel

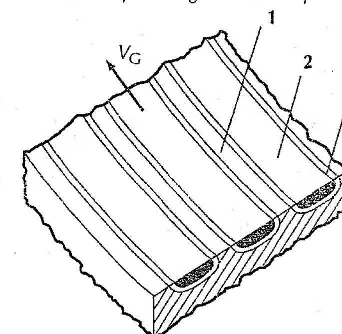


Tabla 3. Selección del material para cojinetes de fricción hidrodinámicos

Material	Denominación de la aleación	Composición en %	Dureza HB 20 °C	Dureza HB 100 °C	Observaciones Ejemplos de utilización
Metal blanco base estaño	LgPbSn 80 (WM 80)	80 Sn 12 Sb; 6 Cu; 2 Pb	27	10	Muy blando, se adapta bien a las superf. desliz. en los bordes, muy buenas propied. de rodadura al arranque
Metal blanco base plomo	LgPbSn 10 (WM 10)	73 Pb; 16 Sb; 10 Sn; 1 Cu	23	9	Es necesario un material de soporte, como fundición con acero o con Ni como capa intermedia con el bronce al plomo
Bronce base plomo	G-CuPb 25	74 Cu; 25 Pb; 1 Sn	50	47	Muy blanco, muy buenas propiedades de rodadura al arranque; contra el desgaste no es tan resistente
	G-CuPb 22	70 Cu; 22 Pb; 6 Sn; 3 Ni	86	79	
Bronce base plomo-estaño	G-CuPb 10 Sn	80 Cu; 10 Pb; 10 Sn	75	67	Por el plomo tiene mejores propied. en el arranque. No es tan sensible a las inclinac. como los bronces al estaño puros, por ello los bronces al Pb-Sn se pueden cargar más y se prefieren en los cigüeñales. Se emplean cojinetes colados sobre acero en la construc. de motores de combustión, cojinetes de bulones de pistón p hasta 100 N/mm²
	G-CuPb 23 Sn	76 Cu; 23 Pb; 1 Sn	55	53	Colado sobre acero para cojinetes con poca carga (70 N/mm²). También para casquillos de cojinetes de pared gruesa. Propiedades de rodadura al arranque especialmente buenas, cojinetes para cigüeñales, para árboles de levas, cojinetes de biela
Bronce base estaño	G-CuSn 10 Zn	88 Cu; 10 Sn; 2 Zn	85		Material duro. Casquillos para cojinetes de fricción con carga moderada y pequeña velocidad de rozamiento. Ruedas helicoidales
	CuSn 8	92 Cu; 8 Sn	80 ...220		Aleación muy laminable. Bueno para cargas elevadas y engrase escaso, cojinetes de manguetas. Especial para casquillos de cojinetes de fricción de pared delgada
Latón rojo (bronce de máquinas)	G-CuSn 7 ZnPb	83 Cu; 6 Pb; 7 Sn; 4 Zn	75	65	El estaño se substituye parcialmente por el cinc y el plomo. Es un substituto del bronce al estaño, pero sólo para solicitaciones medias (40 N/mm²). Cojinetes de fricción para construcción de máquinas en general. Bulones de pistón, casquillos, cojinetes para cigüeñales y palancas acodadas

Material	Denominación de la aleación	Composición en %	Dureza HB 20 °C	Dureza HB 100 °C	Observaciones Ejemplos de utilización
Latón	CuZn 31 Si	68 Cu; 31 Zn; 1 Si	90 ...200		El contenido de Zn es desfavorable para temperaturas elevadas de cojinete. Substituto del bronce al estaño, pequeñas solicitaciones
Bronce al Al	CuAl 9 Mn	88 Cu; 9 Al; 3 Mn	110... 190		Coefic. dilatación lineal compar. al del metal ligero; bueno para ajuste a pres. en alojam. de aleac. ligeras. Más resist. al desgaste que los bronces al estaño, p. tiene mayor coefic. de rozam.
Aleación aluminio	AlSi 12 Cu NiMn	1 Cu; 85 Al; 12 Si; 1 Ni; 1 Mn	110	100	Aleación para pistones para pequeñas velocidades de rozamiento
Capa de Al lamin.	AlSn 6	1 Cu; 6 Sn; 90 Al; 3 Si	40	30	La sedimentación del estaño limitada por la laminación, con lo que se consigue una alta capacidad de carga, buenas propiedades de deslizamiento. Mejora con capa galvánica
Capas galvánicas	PbSn 10 Cu	2 Cu; 88 Pb; 10 Sn	50... 60		Para cojinetes modernos de tres capas, incorporado en capas de 10 a 30 µm galvánicas; grano muy fino. Capa intermedia de Ni en el metal del cojinete

Véanse también DIN 1703, 1705, 1716, 17660, 17662, 17665, 14665, 1494, 1725, 1743. ISO 4381, 4382, 4383 para los materiales.

Tabla 4. Materiales para cojinetes de metal sinterizado
Sint-B significa 20% PV (volumen de poros) (Sint-A, 25% PV; Sint-C, 15% PV)

Grupo de materiales	Denominación Sint.	Composición	Observación
Hierro sinter.	B 00	Fe	Material normal para especificaciones no demasiado elevadas de carga y rubio
Acero sinter. c. cont. de Cu	B 10	< 0,3 C 1...5 Cu Resto Fe	Buena resistencia al desgaste, mayor capacidad de carga que los cojinetes de Fe puro
Acero sinter., c. elev. cont. de Cu	B 20	20 Cu Resto F	De precio más favorable que el bronce sinterizado, buen comportamiento silencioso y buenos valores de PV.
Bronce sinter.	B 50	< 0,2 C 9...10 Sn Resto Cu	Material normal de base Cu-Sn, buen comportamiento silencioso

Cojinetes de fricción de metal sinterizado

Están constituidos por metales sinterizados con un volumen de poros remanente impregnado con lubricantes líquidos. En muchos equipos auxiliares de la construcción de vehículos (motores pequeños) este tipo de cojinete es un buen compromiso entre precisión, montaje, mantenimiento no necesario, vida y costes. El punto decisivo para su utilización está en los diámetros de eje de 1,5 a 12 mm. En los vehículos se prefieren los cojinetes sinterizados de hierro y acero (favorables en el precio, menos interacción con el lubricante) a los de bronce sinterizado (tabla 4). Las ventajas de los cojinetes de bronce sinterizado son que pueden cargar más, que son más silenciosos y que tienen menor coeficiente de rozamiento (para aparatos fonográficos, equipos de oficinas y de datos, cámaras).

La capacidad de carga del cojinete sinterizado a largo plazo está muy supeditada al empleo del lubricante óptimo.

Aceites minerales: Buena capacidad de carga mecánica, pero elevada tendencia a la vaporización.
Aceites sintéticos (Por ejemplo, ésteres, poliéteres): buena capacidad de carga térmica, escasa tendencia a la vaporización.
Grasas fluidas sintéticas (De base de aceites de ésteres). Poco rozamiento en el arranque.

Cojinetes de fricción en seco

(Tabla 5, página 280)

Cojinete de polímeros completos de termoplásticos

Ventajas: Son de coste favorable, no se gripan con los metales.
Inconvenientes: Escasa conductibilidad del calor, temperaturas de trabajo relativamente bajas, riesgo de hincharse con la humedad, escasa capacidad de carga, elevado coeficiente de dilatación lineal.

Los polímeros más frecuentemente utilizados son polietileno (PE), poliacetal (POM, POM-C), poliamida (PA), tereftalato de polietileno y de polibutileno (PETP, PBTP). Por adición de lubricantes y cargas de refuerzo del material termoplástico de base se varían mucho los límites de las propiedades tribológicas y también los valores característicos.

Adición de lubricantes: Politetrafluoretileno (PTFE), grafito (C), aceite de silicona y otros lubricantes líquidos.
Aditivos reforzantes: Fibra de vidrio, fibra de carbón.
Ejemplos de utilización: Cojinetes de limpiaparabrisas (PA y fibra de vidrio), cojinete del regulador centrífugo del distribuidor del encendido (PA y fibra de carbón).

Cojinetes de polímeros de termoestables y elastómeros

Estos materiales de elevado rozamiento propio se utilizan poco en la industria del automóvil para cojinetes. Los termoestables son resinas fenólicas (elevado rozamiento, por ejemplo el Resitex), resinas epoxídicas (necesaria la adición de PTFE o de C, por su fragilidad intrínseca es casi siempre necesario el refuerzo con fibras), poliimida (que se puede cargar mucho tanto mecánicamente como térmicamente).

Ejemplo de utilización: El cojinete de cabeza de hongo, de arranque del motor limpiaparabrisas de poliimida.

Cojinetes compuestos

Los cojinetes compuestos son combinaciones de polímeros, fibras y metales. Según su estructura presentan ventajas respecto a los cojinetes de fricción a base de polímeros puros o con carga, en cuanto a capacidad de carga, holgura, conducción del calor y montaje (apropiados para movimientos oscilantes).

Ejemplo de montaje: Parte posterior de acero (de pocos milímetros) cincado o con una capa de cobre, encima una capa sinterizada de esferas de bronce de 0,2 a 0,35 mm de espesor, con un 30 a 40% de volumen de poros, en la que se lamina una substancia polímera de bajo coeficiente de rozamiento como superficie de fricción a base de (a) resina de acetal impregnada en aceite o con copitos de engrase, o bien (b) PTFE + Pb o con adición de MoS_2.
Hay cojinetes compuestos de múltiples formas y composiciones. Los cojinetes compuestos con PTFE y tejido de fibra con gran capacidad de carga, son especialmente apropiados para rótulas.

Ejemplos de utilización en los vehículos: cojinetes de vástagos de amortiguadores, cojinete de la palanca de desembrague del disco de presión del embrague, cojinetes de las zapatas de freno, de los frenos de tambores, cojinetes de rótulas, cojinetes de las bisagras de las puertas, cojinete del eje del enrollador del cinturón de seguridad, cojinetes de manguetas, cojinetes de bombas de engranaje.

Cojinetes de carbón sintético

Los cojinetes de carbón sintético pertenecen a los cerámicos por su proceso de fabricación y por las propiedades del material. Los materiales de base son carbono en polvo; como aglutinante se emplean las breas o resinas sintéticas.

Ventajas: Resistencia a la temperatura de 350 °C (carbón sinterizado) a 500 °C (grafito eléctrico), buen deslizamiento, buena resistencia a la corrosión, buena conducción del calor y buena resistencia al choque térmico. Hay que tener en cuenta su elevada fragilidad.

Ejemplos de utilización de los cojinetes carbón sintético: cojinetes de bombeo de combustible, de hornos de secado, palas regulables de guía de turbocompresores.

Cojinetes de cerámica metalúrgica

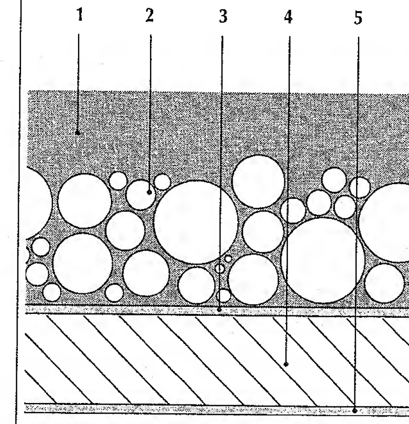
Están compuestos por materiales obtenidos por pulvimetalurgia, que junto a la matriz metálica contienen partículas lubricantes sólidas finamente distribuidas.

Matriz: Por ejemplo, bronce, hierro, níquel.
Lubricante: Por ejemplo, grafito, MoS_2.

Estos materiales son apropiados para cargas muy altas y con autolubricación simultánea.

Ejemplo de utilización: cojinetes de manguetas.

Corte de un cojinete compuesto autolubricante
1 *Capa de fricción de polímero,* 2 *Capa de esferas de bronce,* 3 *Capa de cobre,* 4 *Protección trasera de acero,* 5 *Capa de estaño*



Cojinete compuesto con tejido de fibras de PTFE de vidrio
1 *Tejido de fibras de PTFE,* 2 *Hilos aglutinantes,* 3 *Resina,* 4 *Tejido de protección de fibra de vidrio,* 5 *Aglomerante,* 6 *Parte trasera de acero*

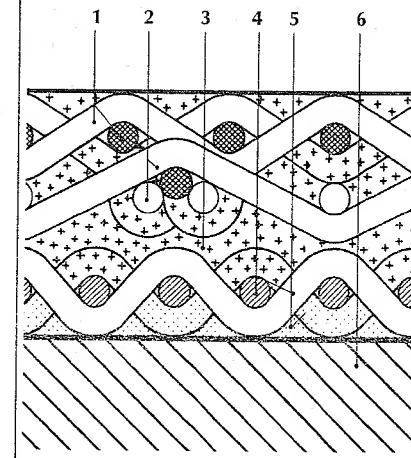


Tabla 5. Propiedades de los cojinetes de fricción autolubricantes sin mantenimiento

	Cojinetes sinterizados impregnados de aceite		Cojinete de polímero		Cojinetes compuestos Capa rodante		Carbones sintéticos
	De hierro sinter.	De bronce sinter.	Termoplást. Poliamida	Termoestable Polimida	PTFE + aditivo	Resina de acetal	
Res. a compresión N/mm²	80 a 180		70	110	250	250	100 a 200
Velocidad máxima de deslizamiento m/s	10	20	2	8	2	3	10
Carga típica N/mm²	1 a 4 (10)		15	50 (de 50 °C) 10 (de 200 °C)	20 a 50	20 a 50	50
Temper. trabajo adm. °C	−60 a 180 (depende del aceite)		−130 a 100	−100 a 250	−200 a 280	−40 a 100	−200 a 350
Durante corto tiempo	200		120	300		130	500
Coefic. de rozamiento sin lubricante	con engrase 0,04 a 0,2		0,2 a 0,35	0,2 a 0,5 (s. carga relleno) 0,1 a 0,4 (c. carga relleno)	0,04 a 0,2	0,07[1] a 0,2 [1]c. carga relleno PTFE	0,1 0 0,35
Conductibilidad térmica W/(m · K)	20 a 40		0,3	0,4 a 1	46	2	10 a 65
Resist. a la corrosión	Menos buena	buena	muy buena		buena	buena	muy buena
Resistencia química	no		muy buena		condicionada	condicionada	buena
Max. p · v (N/mm²) · (m/s)	20		0,05	0,2	1,5 a 2		0,4 a 1,8
Capacidad p. absorb. incrust. de suc. y part. arranc. p. rozam.	condicionada		buena	buena	menos buena	buena	menos buena

Cojinetes de rodamiento (rodamientos)

La transmisión de fuerza se realiza en estos por medio de cuerpos de rodadura (bolas o rodillos). La rodadura es un tipo de movimiento compuesto de deslizamiento y giro. También en los rodamientos además del giro puro existe siempre algo de resbalamiento (es decir, un rozamiento), que causa un desgaste mayor en el caso de rozamiento mixto.

<u>Ventajas:</u>
Menor coeficiente de rozamiento en el arranque (0,001 a 0,002), y por ello son especialmente apropiados para puestas en marcha frecuentes, menor necesidad de mantenimiento, apropiados para lubricación de larga duración, menor consumo de lubricante y pequeña anchura de apoyo de cojinete, gran precisión.

<u>Inconvenientes:</u>
Sensibles a las cargas bruscas, sensibles a la suciedad, los ruidos del cojinete para algunas aplicaciones son demasiado altos; sólo existen en medidas normalizadas.

Materiales de los cojinetes

Las pistas y los cuerpos de rodadura son de acero especial al cromo(100 Cr6H) de elevado grado de pureza y durezas de 58 a 65 HRC. Las jaulas, según el tipo de aplicación, son de acero o latón conformados con prensas. Hoy en día, por su mayor facilidad de fabricación, mejor adaptación a la forma del cojinete y otras ventajas tribológicas (mejor deslizamiento) se han introducido las jaulas de polímeros. Los polímeros de poliamida 66 reforzada con fibra de vidrio pueden trabajar continuamente a 120 °C y por poco tiempo a 140 °C.

Capacidad portante estática

Como medida de la capacidad portante de los rodamientos que giran muy despacio o están quietos se utiliza el coeficiente de sustentación *Co*, que es la carga a la cual la deformación total remanente de los cuerpos de rodadura y de las pistas en los puntos de contacto más solicitados asciende a 0.0001 del diámetro del cuerpo de rodadura. La carga correspondiente a este coeficiente de sustentación *Co* produce en el centro del cuerpo de rodadura más cargado una presión superficial máxima de 4000 N/mm².

Capacidad portante dinámica (ISO 281)

Para el cálculo de la vida de los rodamientos que giran, se utiliza el coeficiente de sustentación dinámica *C*, que da la carga en el cojinete a la cual resulta una vida de 1 millón de vueltas

$$\text{Ecuación de la vida útil } L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

- L_{10} Vida nominal en millones de vueltas, que se alcanza o rebasa en más del 90% de cojinetes iguales.
- C Coeficiente de sustentación dinámica en N (se obtiene por ensayos).
- P Carga dinámica equivalente en el cojinete.
- p Exponente empírico de la ecuación de la vida útil: cojinetes de bolas, $p = 3$; cojinetes de rodillos, $p = 10/3$.

Vida nominal modificada

La ecuación anterior de la vida útil se puede substituir en algunos casos por la siguiente, en la que se tienen en cuenta otros factores que influyen en la vida útil, en concreto:

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

- L_{na} Vida nominal modificada en millones de vueltas.
- a_1 Coeficiente de probabilidad de vida, por ejemplo 90%: $a_1 = 1$; 95%: $a_1 = 0{,}62$.
- a_2 Coeficiente según las condiciones de material.
- a_3 Coeficiente para las condiciones de trabajo (lubricación del rodamiento).

Los coeficientes a_2 y a_3 no son independientes uno de otro y por eso se utiliza el coeficiente a_{23}.

Según los últimos conocimientos existe una carga límite de fatiga que junto a otros factores de influencia (por ejemplo, suciedad, inclusiones) es tenida en cuenta en el cálculo de la vida útil (ver catálogos de los fabricantes de rodamientos).

Cálculo de muelles

Nombres de las unidades en págs. 12 a 14

Magnitud		Unidad
b	Ancho hoja, de ballesta	mm
c	Coef. rigidez (const. muelle): p. ballestas y muelles helioid.: aumento de fuerza por cada mm recorr. del muelle; p. barras de torsión, muelles c. patas y espiral es. el aum. del momento muelle p. cada grado áng. giro	N/mm N/mm N · mm/°
d	Diámetro alambre	mm
D	Diámetro medio espira	mm
E	Módulo de elasticidad p. acero de muelles: = 206000 N/mm² p. otros materiales, véase la pág. 194	N/mm²

Magnitud		Unidad
F	Fuerza del muelle	N
G	Módulo de cortadura; p. muelles conf. en cal. ≈ 78500 N/mm² p. muelles conf. en frío ≈ 81400 N/mm²	N/mm²
h	Altura hoja de ballesta	mm
n	Número vueltas de flexión	–
M	Momento del muelle	N · mm
s	Recorrido del muelle	mm
α	Ángulo de torsión	°
σ_b	Tensión de flexión	N/mm²
τ	Tensión de torsión	N/mm²

Conversión de unidades anteriores ya no admitidas:
1 kp = 9,81 N ≈ 10 N; 1 kp/mm ≈ 10 N/mm, 1 kp mm ≈ 10 N mm,
1 kp mm/° ≈ 10 N mm/°, 1 kp/mm² ≈ 10 N/mm²

Muelles solicitados a presión

Tipo de muelle	Tensión a flexión	Coeficiente de rigidez
Muelle simple de hoja recta (sección constante)	$\sigma_b = \dfrac{6l}{b \cdot h^2} F$ Diagrama de resist. a la fatiga pág. 283	$c = \dfrac{F}{s} = \dfrac{E \cdot b \cdot h^3}{4 \cdot l^3}$
Ballesta simple de laminado parabólico (ballesta de vehículo)	$\sigma_b = \dfrac{3l}{b \cdot h_0^2} Q$	$c = \dfrac{Q}{s} = \dfrac{E \cdot b \cdot h_0^3}{4 \cdot l^3}$
Ballesta compuesta (ballesta de vehículo)	$\sigma_b = \dfrac{3l}{n \cdot b \cdot h^2} Q$	$c = \dfrac{(2 + n'/n)(E \cdot n \cdot b \cdot h^3)}{6 \cdot l^3}$

n = núm. de hojas de la ballesta
n' = núm. hojas completas en extremid. muelle

Tipo de muelle	Tensión a flexión	Coef. de rigidez
Muelle de torsión (muelle de acción angular) (DIN 2088)	Sección rectangular $\sigma_b = \dfrac{6}{b \cdot h^2} M$	$c = \dfrac{M}{\alpha} = \dfrac{E \cdot b \cdot h^3}{57{,}3 \cdot 12 \cdot l}$
	Sección circular $\sigma_b = \dfrac{32}{\pi \cdot d^3} M$	$c = \dfrac{M}{\alpha} = \dfrac{E \cdot \pi \cdot d^4}{57{,}3 \cdot 64 \cdot l}$
	siendo $M = F \cdot R$ l = long. muelle desarr. = $2\,\pi \cdot r \cdot n$ (r = radio medio de espira) En el caso de cargas oscilantes hay que tener en cuenta el aumento de la tensión por cimbreo	
Muelle espiral (ambos extremos están fijos y a tensión)	Ecuaciones iguales que para el muelle de torsión (ver arriba)	

Diagrama de resistencia a la fatiga
Para fleje de acero pulido para muelles (no para muelles de vehículos) según DIN 17 222 CK 75 y CK 85 bonificado de 430 a 500 HV[1], así como CK 85 y CK 101 bonificados de 500 a 580 HV.

Ejemplo: (línea a trazos del diagrama)
Para un muelle de láminas con 400 a 500 HV, para una tensión mínima de

σ_u = 600 N/mm²

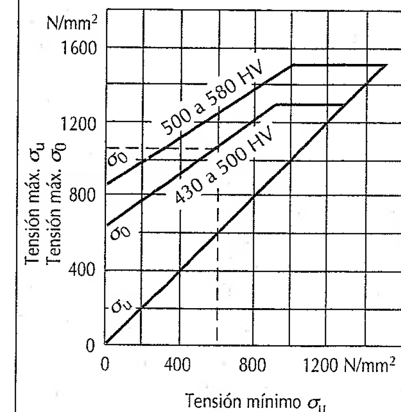
La tensión admisible de desplazamiento es

σ_{hzul} = 480 N/mm²

y la máxima

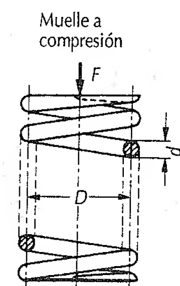
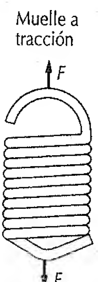
$\sigma_0 = \sigma_u + \sigma_{hzul}$ = 1080 N/mm².

Por razones de seguridad hay que elegir tensiones de desplazamiento un 30 % inferiores. Las imperfecciones de la superficie (manchas de óxido, entallas) reducen considerablemente la resistencia a la fatiga.



(1) Dureza Vickers pág. 268.

Muelles sometidos a torsión

Tipo de muelle	Tensión de torsión	Coeficiente de rigidez
Barra de torsión de sección circular (DIN 2091)	$\tau = \frac{16}{\pi \cdot d^3} M$	$c = \frac{M}{\alpha} = \frac{G \cdot \pi \cdot d^4}{57{,}3 \cdot 32 \cdot l}$
	donde $M = F \cdot R$	
Muelle helocoidal de alambre redondo (DIN 2089) Muelle a compresión  Muelle a tracción  arr.: gancho abierto; abajo: gancho cerrado (v. pág. 287)	a) P. una carga estát. o que varía raram., la influenc. de la curv. del alambre no es neces. considerarla: $\tau_i = \frac{8 \cdot D_m}{\pi \cdot d^3} F$ b) P. una carga oscilante hay que tener en cuenta la repartic. irregular de las tensiones de torsión: $\tau_k = k \cdot \tau_i = \frac{8k \cdot D_m}{\pi \cdot d^3} F$	$c = \frac{F}{s} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot n \cdot D^3}$ P. muelles de compres. c. sólo 1 a 3 espiras, la gráf. del muelle ya no es una recta; el coef. rigidez c prim. es menor y luego mayor que el calc.

El coefic. k depende de la relación de arrollamiento D_m/d;

D/d	3	4	6	8	10	20
k	1,55	1,38	1,24	1,17	1,13	1,06

Evitar $D_m/d < 3$ y > 20

Las tensiones máximas admisibles τ_{k0} para temperaturas hasta unos 40 °C pueden obtenerse de los diagramas de resistencia a la fatiga de las páginas siguientes en las líneas verticales límite para diferentes diámetros de alambre (los valores intermedios se obtienen interpolando). Para temperaturas elevadas tener en cuenta las gráficas de pérdida de fuerza (relajación). Después de 300 h las relajaciones son aproximadamente 15 veces mayores que al cabo de 10 h. Los valores para otros materiales en la página 194.

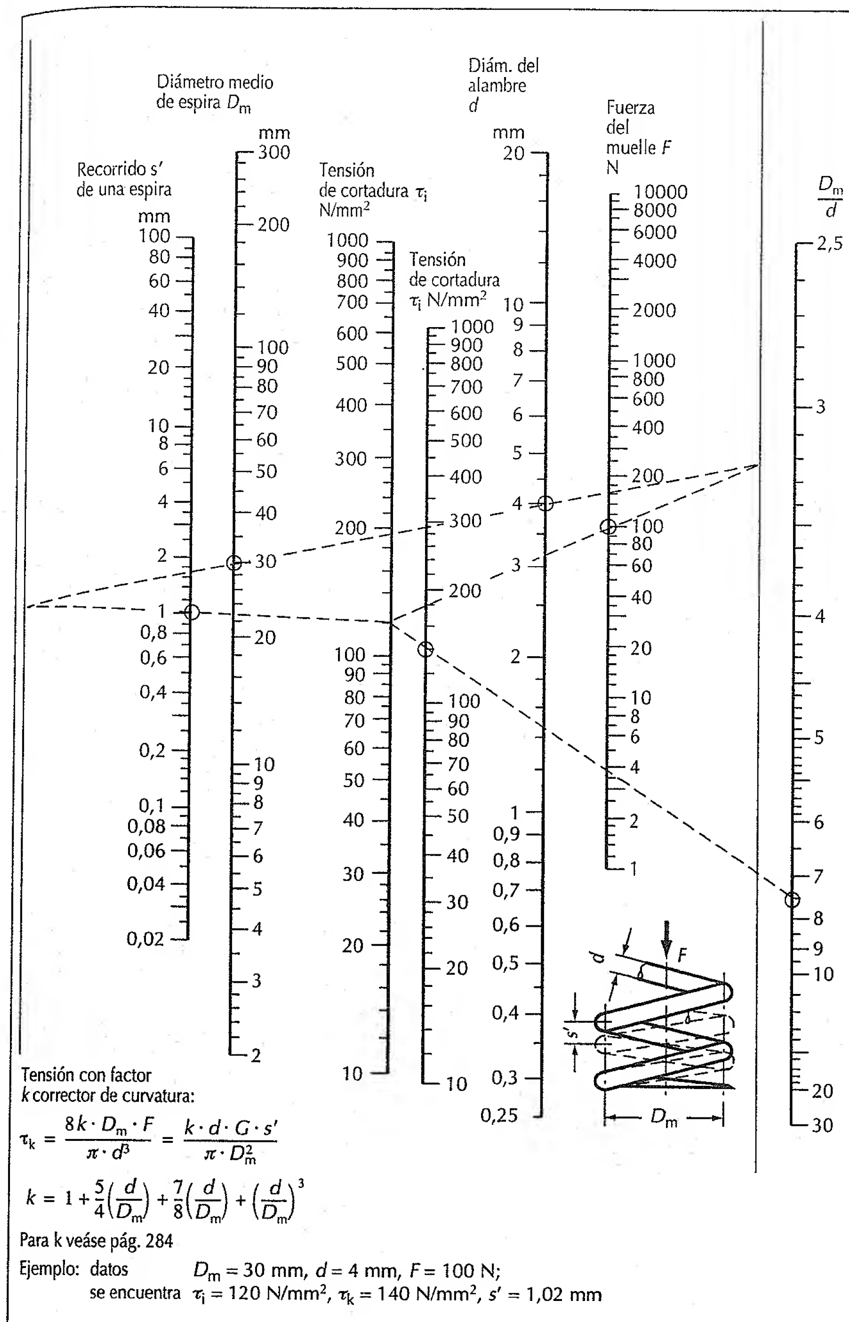
Para muelles a tracción con una tensión previa incorporada, las tensiones máximas admisibles hay que reducirlas al 90% de los valores del diagrama. pues no es posible en su caso el denominado efecto de instauración.

Explicación del nomograma que sigue

Sirve para muelles helicoidales cilíndricos de tracción o de compresión, con alambre de acero de sección circular (módulo de cortadura $G = 81\,400$ N/mm²). Para materiales con otros módulos de cortadura G' el recorrido del muelle hay que multiplicarlo por G/G'.

El nomograma da el recorrido s' de una espira. El recorrido total s del muelle se obtiene multiplicando s' por el numero (n) de espiras elásticas: $s = n \cdot s'$.

Ábaco para el cálculo de muelles helicoidales



Tensión con factor k corrector de curvatura:

$$\tau_k = \frac{8k \cdot D_m \cdot F}{\pi \cdot d^3} = \frac{k \cdot d \cdot G \cdot s'}{\pi \cdot D_m^2}$$

$$k = 1 + \frac{5}{4}\left(\frac{d}{D_m}\right) + \frac{7}{8}\left(\frac{d}{D_m}\right)^2 + \left(\frac{d}{D_m}\right)^3$$

Para k veáse pág. 284

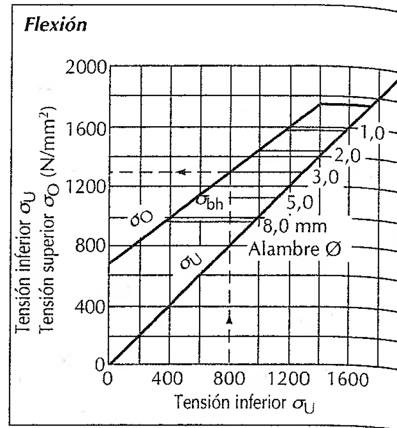
Ejemplo: datos $D_m = 30$ mm, $d = 4$ mm, $F = 100$ N;
se encuentra $\tau_i = 120$ N/mm², $\tau_k = 140$ N/mm², $s' = 1{,}02$ mm

Diagrama de fatiga para muelles de torsión

Alambre de acero para muelles C DIN 17 223, Hoja 1. Muelles de torsión sin granallar.

Ejemplo (línea a trazos del diagrama);
Para un muelle de torsión de alambre de 2 mm de Ø, con una tensión mínima de $\sigma_u = 800$ N/mm², la tensión de desplazamiento admisible que resistirá más de 10^7 ciclos de carga sin rotura será σ_{bh} = 500 N/mm².
La tensión máxima será pues

$\sigma_O = \sigma_u + \sigma_{bh} = 1300$ N/mm²



Diagramas de relajación con carga permanente y resistencia a la fatiga

Alambre de acero para muelles C

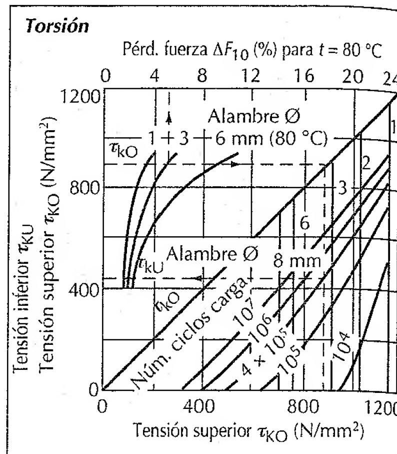
DIN 17 223. Hoja 1. Muelles helicoidales de compresión sin granallar asentados en frío.

Ejemplo (línea a trazos del diagrama):
Un muelle helicoidal de presión, de alambre de Ø 3 mm con una tensión máxima de τ_{kO} = 900 N/mm² después de 10 h a 80 °C de temperatura de trabajo muestra una pérdida de fuerza

$\Delta F_{10} = 5{,}5\%$.

Para un número de ciclos de carga alternante hasta la rotura de 4×10^5 se puede contar con una tensión de desplazamiento

$\sigma_{kh} = \tau_{kO} - \tau_{kU} = 900 - 480 = 420$ N/mm².

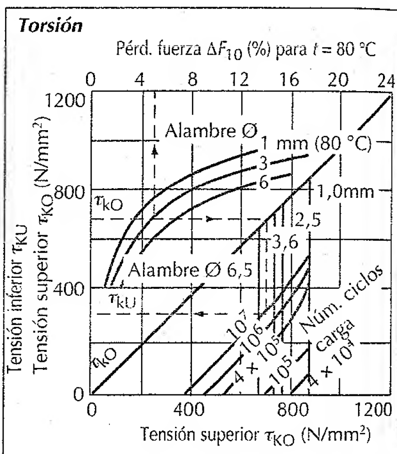


Alambre de acero para muelles de válvulas VD DIN 17 223, Hoja 2. Muelles helicoidales de presión sin granallar, asentados en frío.

Ejemplo (línea a trazos del diagrama):
Un muelle helicoidal de presión, de alambre de Ø 3 mm con una tensión máxima de τ_{kO} = 700 N/mm², después de 10 h y a la temperatura de trabajo de 80 °C muestra una pérdida de fuerza ΔF_{10} = 5 %.

Para una solicitación continuada ($N > 10^7$ ciclos o juegos de carga) se le puede permitir una tensión de desplazamiento

$\tau_{kh} = 700 - 320 = 380$ N/mm².



Alambre de acero para muelles de válvulas de CrV[1].
Muelles helicoidales de presión, sin granallar, asentados en frío

Ejemplo (línea a trazos del diagrama):
Un muelle de presión helicoidal de alambre de 3 mm de Ø a una tensión máxima τ_{kO} = 700 N/mm², después de 10 h y a 160 °C de temperatura de trabajo muestra una pérdida de fuerza $\Delta F_{10} = 6\%$.

Para una solicitación a la fatiga ($N \geq 10^7$ ciclos) se puede permitir una tensión de desplazamiento

$\sigma_{kh} = 700 - 240 = 460$ N/mm²

Alambre de acero para muelles de válvula de SiCr[1].
Muelles helicoidales de presión, sin granallar, asentados en frío

Ejemplo (línea a trazos del diagrama):
Un muelle helicoidal de presión de alambre de 3 mm de Ø, a una tensión superior τ_{kO} = 900 N/mm² después de 10 h y a 160 °C de temperatura de trabajo muestra una pérdida de fuerza $\Delta F_{10} = 3{,}5\%$.

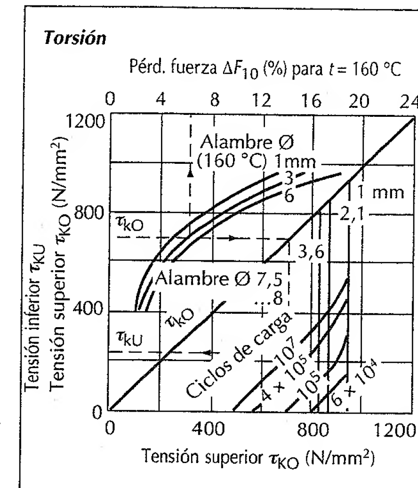
Para una solicitación a la fatiga ($N \geq 10^7$ ciclos) se puede permitir una tensión de desplazamiento τ_{kh}

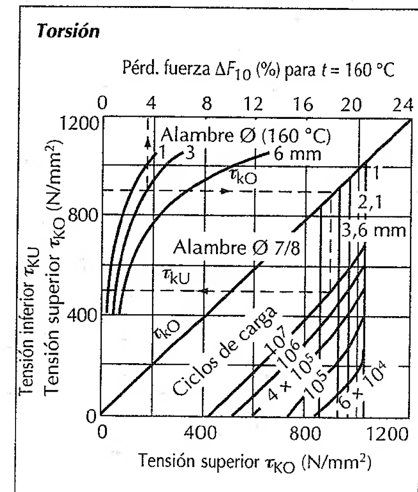
$\sigma_{kh} = 900 - 510 = 390$ N/mm²

Por el riesgo de vibraciones propias y otras solicitaciones adicionales, se toman tensiones de desplazamiento un 30 % inferiores. El granallado eleva la tensión de desplazamiento admisible aproximadamente un 30%.

En los **muelles de presión**, para tener el mínimo de excentricidad en la fuerza, en cada extremo se rectifica una vuelta plana y perpendicular al eje del muelle (final del alambre ≈ $d/4$). Se tiene entonces:
Número total de espiras $n_t = n + 2$.
Longitud extremo a extremo $\leq (n + 2)d$.

Los **muelles helicoidales de tracción** están sobresolicitados en los ganchos y ojales normales en un 50 %, cuando en el cuerpo del muelle actúa la tensión máxima de desplazamiento admisible. Los ganchos Hifo® (patente DB y otros) son resistentes a la fatiga por su mayor fuerza inicial interna F_o





Los muelles de tracción helicoidales, por sus buenas tensiones propias, admiten las mismas cargas que los muelles de presión y tienen menos relajación. En el caso de pretensado interno elevado F_o (= hifo) se puede ahorrar hasta el 50 % de espacio de los muelles de tracción normales para F_v.

[1] según DIN 17 223, parte 2ª.

Ruedas dentadas y engranajes

(con flancos envolventes)

Magnitudes y unidades (DIN 3960)

Magnitud		Unidad
a	Distancia entre ejes	mm
b	Ancho de diente	mm
c	Juego en la cabeza	mm
d	Diám. del círculo primitivo	mm
d_a	Diám. del círculo de cabeza	mm
d_b	Diám. del círculo de pie	mm
d_f	Diám. del pie de diente	mm
h_a	Alt. de la cabeza del diente = $m \cdot h_{aP}*$	mm
h_t	Alt. del pie de diente = $m \cdot h_{tp}*$	mm
j_P	Juego normal de los flacos	mm
m	Módulo $m = d/z$	mm
n	Núm. revoluciones por minuto	min^{-1}
p	Paso $p = \pi \cdot m$	mm
s	Espesor de diente	mm
W	Dist. entre dientes	mm
x	Factor de desplazam. de perfil	–
z	Núm de dientes	–

Magnitud		Unidad
α	Ángulo de ataque	°
β	Ángulo de inclinación	°
ε	Ángulo de contacto	°
*	valor específico a multiplicar por m	
Índices		
1	Refer. a la rueda 1	
2	Refer. a la rueda 2	
a	Refer. a la cabeza diente	
b	Refer. al círculo de base	
f	Refer. al pie del diente	
n	Refer. a la sección normal	
t	Ref. al corte frontal	
w	Refer. al círc. de rodad. de serv.	
F	Refer. a la solicit. que sufre el pie del diente	
P	Perfil de referencia	
W	Refer. a la presión de rodadura	

La forma y tipo de las ruedas dentadas se determinan por la posición de los árboles que transmiten las fuerzas o el movimiento por medio de las ruedas dentadas que llevan acopladas.

Dentado cicloidal: Se emplea principalmente en la industria relojera. Permite un número pequeño de dientes sin interferencias con pequeñas presiones de rodadura, pero es sensible a las variaciones de distancia entre ejes.

Dentado envolvente: A diferencia del anterior, es insensible a las variaciones de distancia entre ejes. Se puede obtener por generación con herramientas relativamente sencillas. En la fabricación de automóviles se utiliza casi exclusivamente el dentado de evolvente y con las siguientes limitaciones.

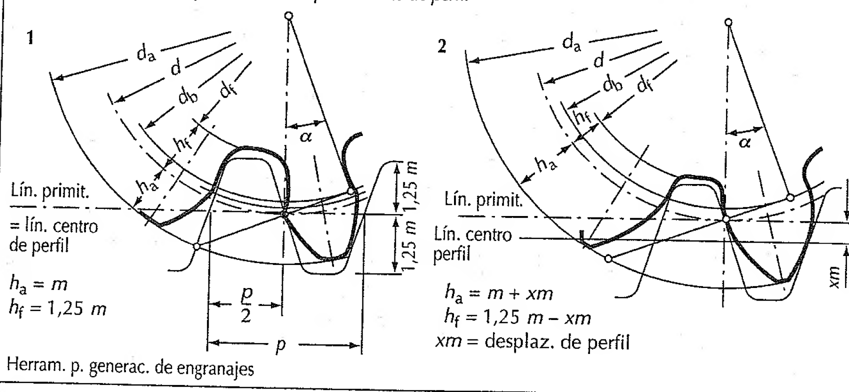
Todas las ruedas dentadas rectas con el mismo módulo (y el mismo ángulo de ataque) se pueden fabricar con la misma herramienta de generación independientemente del número de dientes y del desplazamiento de perfil. Con el fin de limitar el número de estas herramientas y de las ruedas maestras de calibre necesarios, existe una serie de módulos normalizados.

Módulos para ruedas dentadas rectas y cónicas DIN 780 (tabla en la página 245), módulos para tornillos sinfín y ruedas dentadas DIN 780, módulos para árboles dentados y cubos dentados DIN 5480.

El módulo en el tallado normal para ruedas helicoidales se elige también casi siempre según DIN 780. Para ruedas cónicas con dentado en espiral se utiliza casi siempre una serie de módulos apropiada al proceso de producción.

***Influencia del desplazamiento de perfil en una rueda de ocho dientes** (α = 20°)*

***1** Sin desplazamiento de perfil, **2** Con desplazamiento de perfil*



Definiciones

Tipos de engranajes

Posición ejes	Tipo de engranaje	Propiedades	Ejemplos de utilización en la automoción
paralela	Engranajes exteriores o interiores con dentado recto u oblicuo	El dent. oblic. es de func. más sil. pero tiene un esf. cort. axial	Engranajes del cambio de marchas
que se cortan	Engranajes cónicos con dentado recto, oblicuo o haciendo arco		Engranajes planetarios diferenciales
que se cruzan	Engranajes cónicos desplaz. con dent. cónico o haciendo arco		Accionamiento del eje trasero
	Engranajes helicoidales	para peq. potencias	Acc. distrib. enc.
	Engran. tornillo sin fin	Grandes rel. de transf. en un solo paso	Engranajes del limpiaparabrisas
en un mismo eje	Ejes dentados y cubo dentado	Unión con el eje desplazable	Motor de aranque
	Eje y cubo con rosca de paso grande		

Forma del diente

Perfil de referencia para ruedas dentadas rectas DIN 867, DIN 58 400; perfil de referencia para ruedas cónicas DIN 3971; perfil de referencia para tornillos sin fin y ruedas para sin fin DIN 3975; perfil de referencia para árboles dentados y cubos dentados, DIN 5480.

La forma del diente para ruedas helicoidales puede ejecutarse también por el perfil de referencia DIN 867. Además de los ángulos de ataque normalizados (20° para las ruedas dentadas y 30° para los árboles y cubos dentados) también se utilizan ángulos de ataque de 12°, 14°30′, 15°, 17°30′, 22°30′ y 25°.

Desplazamiento de perfil

El desplazamiento de perfil (ver figura) se utiliza para evitar interferencias en engranajes con número pequeño de dientes, elevar la resistencia del pie del diente y lograr una distancia determinada entre ejes.

Engranaje V nulo

Los desplazamientos de perfil de piñón y rueda son iguales, pero opuestos. Con ello no varía la distancia entre ejes. Es el preferido en engranajes helicoidales y ruedas cónicas.

Engranajes V

Los desplazamientos de perfil de piñón y rueda no se anulan, y por ello varía la distancia entre ejes.

Magnitudes determinantes y errores

Se aplican en las normas siguientes: ruedas dentadas rectas DIN 3960, DIN 58 405, ruedas cónicas DIN 3971, tornillos sinfín y sus ruedas helicoidales DIN 3975.

Ecuaciones fundamentales para ruedas dentadas rectas

Denominación	Dentado recto	Dentado oblicuo
Diámetro círculo primitivo	$d = z \cdot m$ Módulo m v. p. 288	$d = \dfrac{z \cdot m_n}{\cos \beta}$ Módulo mn v. p. 288
	En dentado interior z_2 es negativo	
Diámetro circ. base	$d_b = d \cdot \cos\alpha$	$d_b = d \cdot \cos\alpha_t$ α_t de $\tan \alpha_t = \dfrac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$
Dist. entre ejes sin juego (juego en flancos $j_n = 0$)	$a = m\dfrac{z_1 + z_2}{2} \cdot \dfrac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = \dfrac{d_{b1} + d_{b2}}{2 \cdot \cos \alpha_w}$ seg. DIN 867 es $\alpha = 20°$ α_w de: $\mathrm{inv}\,\alpha_w = \dfrac{2(x_1 + x_2)\mathrm{sen}\,\alpha + j_n/m}{(z_1 + z_2)\cos\alpha} + \mathrm{inv}\,\alpha$	$a = m_t\dfrac{z_1 + z_2}{2} \cdot \dfrac{\cos \alpha}{\cos \alpha_{wt}} = \dfrac{d_{b1} + d_{b2}}{2 \cdot \cos \alpha_{wt}}$ $m_t = \dfrac{m_n}{\cos \beta}$ $\cos \beta_b = \dfrac{\mathrm{sen}\ \alpha_n}{\mathrm{sen}\ \alpha_t}$ $\mathrm{inv}\,\alpha_{wt} = \dfrac{m_n \cdot 2(x_1 + x_2)\mathrm{sen}\,\alpha_n + j_n/\cos\beta_b}{m_t(z_1 + z_2)\cos\ \alpha_t} + \mathrm{inv}\,\alpha_t$
Involuta	$\mathrm{inv}\ \alpha = \tan\ \alpha - \hat{\alpha}$ v. p. 145, para $\alpha = 20°$ es $\mathrm{inv}\ \alpha = 0{,}014904$	
Diám. cír. primitivo	$d_w = d_b/\cos\ \alpha_w$	$d_w = d_b/\cos\ \alpha_{wt}$
Diám. cír. pie diente	$d_f = d + 2xm - 2h_{fP}{}^* \cdot m$	$d_f = d + 2xm_n - 2h_{fP}{}^* \cdot m_n$
	para una alt. de cabeza de diente $h_{fP}{}^* \cdot m$ ($h_{fP}{}^* = 1{,}167$ o $1{,}25$ según DIN 3972)	
Diám. cír. cabeza	$d_a = d + 2xm + 2h_{aP}{}^* \cdot m$	$d_a = d + 2xm_n + 2h_{aP}{}^* \cdot m_n$
	para una alt. de cabeza de diente $h_{aP}{}^* \cdot m$ ($h_{aP}{}^* = 1$ según DIN 867)	
Juego en la cabeza	$c_1 = a_{min} - d_{a1}/2 - d_{f2}/2$; $c_2 = a_{min} - d_{a2}/2 - d_{f1}/2$	$c \geq 0{,}15\ m_n$
Grueso de diente en círculo primitivo (med. s. arco)	$s = m(\pi/2 + 2x \cdot \tan\ \alpha)$	tallado normal $s_n = m_n(\pi/2 + 2x \cdot \tan\ \alpha_n)$ tallado recto $s_t = s_n/\cos\ \beta = m_t(\pi/2 + 2 \cdot x \cdot \tan\ \alpha_n)$
Núm. dientes ideal	$z_i = z$	$z_i = z\dfrac{\mathrm{inv}\ \alpha_t}{\mathrm{inv}\ \alpha_n}$
Núm dientes medición	$z' \approx z_i\dfrac{\alpha_{nx}}{180} + 0{,}5$ α_{nx} de $\cos\ \alpha_{nx} \approx \dfrac{z_i}{z_i + 2x}\cos\ \alpha_n$ para z' se toma el núm. entero próx. mayor	
Dist. entre dientes s. z' dientes	$W_{z'} = \{[(z' - 0{,}5)\pi + z_i\mathrm{inv}\ \alpha_n]\cos\ \alpha_n + 2x \cdot \mathrm{sen}\ \alpha_n\}m_n$	
Áng. contacto entre ruedas sin tener en cuenta la interferencia	$\varepsilon_\alpha = \dfrac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \dfrac{z_2}{\lvert z_2\rvert}\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - (d_{b1} + d_{b2})\tan\ \alpha_w}{2 \cdot \pi \cdot m_t \cdot \cos\ \alpha_t}$ (dentado recto) $\varepsilon_\alpha = \dfrac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \dfrac{z_2}{\lvert z_2\rvert}\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - (d_{b1} + d_{b2})\tan\ \alpha_{wt}}{2 \cdot \pi \cdot m_t \cdot \cos\ \alpha_t}$ (dentado oblicuo)	
Contacto de salto	–	$\varepsilon_\beta = \dfrac{b \cdot \mathrm{sen}\ \lvert\beta\rvert}{m_n \cdot \pi}$
Contacto total	$\varepsilon_\gamma = e_\alpha > 1$	$\varepsilon_\gamma = e_\alpha = e_\beta$
	Condición: $e_\gamma > 1$ para d_{amin} y a_{max}	

Las fórmulas anteriormente mencionadas dan un engranaje sin juego en los flancos. Las tolerancias en espesor o ancho de los dientes necesarias para conseguir el juego en los flancos se pueden determinar según DIN 3967 y DIN 58 405 teniendo en cuenta la calidad de las ruedas dentadas. Para ello hay que procurar que el juego mínimo en los flancos esté dimensionado de modo que sea suficiente para que los errores del dentado (como errores de generado, de dirección de los flancos, distancia entre ejes, etc.) pueden ser absorbidos, sin que el juego en los flancos llegue a anularse o se produzcan agarrotamientos. Además, hay que determinar los valores admisibles para errores de generación (de contacto de dos flancos) según DIN 3963, DIN 3967, DIN 58 405, errores de dirección de los flancos según DIN 3963, DIN 3967, DIN 58 405, DIN 3967, distancia entre ejes según DIN 3964 y DIN 58 405.

Serie de módulos para ruedas dentadas rectas y cónicas
en mm (Extracto de DIN 780)

0,3	**1**	**3**	**10**	**32**
0,35	1,125	3,5	11	36
0,4	**1,25**	**4**	**12**	**40**
0,45	1,375	4,5	14	45
0,5	**1,5**	**5**	**16**	**50**
0,55	1,75	5,5	18	55
0,6	**2**	**6**	**20**	**60**
0,65	2,25	7	22	70
0,7	**2,5**	**8**	**25**	
0,75	2,75	9	28	
0,8				
0,85				
0,9				
0,95				

Los módulos en negrita son los de preferencia

Calidades DIN de ruedas dentadas (DIN 3961 a DIN 3964)

Calidad	Ejemplos de utilización	Fabricación
2	Ruedas patrones fundamentales	Rectificado según forma (50 a 60% de rechaces)
3	Ruedas dentadas patrones p. medición	Rectificado de forma y por generación
4	Ruedas dentadas patrones p. taller Engranajes p. medición	
5	Engranajes de máquinas-herramientas, turbinas, apartos de medición	
6	Igual a 5 y además las marchas superiores de los cambios de turismos y autobuses	
7	Cambios de vehículos (marchas sup.), engranajes de máquinas-herramientas, vehículos sobre carriles, medios de elevación y transporte, turbinas y máquinas de oficina	Ruedas no templadas (c. suficiente cuidado por generación); cepillado (es preciso el afeitado posterior); en el caso de ruedas templadas es necesario el rectificado adicional
8 y 9	Cambios de vehículos (marchas medias e inf.), engranajes de vehículos sobre carriles, máquinas-herramientas y de oficina	Fresado, cepillado y tallado por generación (ruedas templadas no rectificadas)
10	Cambios de remolques agrícolas, máquinas agrícolas, engranes de secundarios de la construc. de máquinas en gral. y aparatos de elevación	Todos los procedimientos corrientes son utilizables, incluidos la extrusión y la sinterización, en ruedas de plástico la inyección
11 y 12	Construcción de maquinaria agrícola en gral.	

Factor x de desplazamiento de perfil

Para dentado recto $\alpha = 20°$
Perfil de refer. I DIN 3972 ($h_{tp} = 1,167 \cdot m$)

1	2	3	4
Núm. dien. z, en dent. oblíc. z_i	Sin interferencia cuando $x \geq$	Grues. cab. $0,2 \cdot m$, cuando $x \approx$	Diente puntiag. cuando $x \geq$
7	+0,47	–	+0,49
8	+0,45	–	+0,56
9	+0,4	+0,4	+0,63
10	+0,35	+0,45	+0,70
11	+0,3	+0,5	+0,76
12	+0,25	+0,56	+0,82
13	+0,2	+0,62	+0,87
14	+0,15	+0,68	+0,93
15	+0,1	+0,72	+0,98
16	0	+0,76	+1,03

Si se utiliza el desplazamiento de perfil para elevar la resistencia, para mantener una distancia determinada entre ejes, etc., entonces x no debe ser nunca mayor que la columna 3 (en caso necesario la columna 4 para ruedas cementadas, pero entonces hay que acortar la cabeza), ni nunca menor que la columna 2, o para número mayor de dientes nunca inferior a:

$x = (16 - z)/17$,

y para dentado oblicuo $x = (16 - z_i)/17$.

Dentados para motores de arranque

El sistema de ajuste de ruedas dentadas, corriente en la construcción de maquinaria y fijado en DIN 3961 "Distancia unitaria entre ejes", por la cual se consigue el juego entre flancos necesario con una variación negativa del grueso de diente, no se puede emplear para el dentado de motores de arranque, ya que éstos por su forma de engranar necesitan un juego entre flancos superior al de las ruedas que están continuamente engranadas. Esto se consigue con el aumento apropiado de la distancia entre ejes.

El gran par necesario para arrancar el motor obliga a una gran relación de transmisión (i = 10 hasta 20). Esto implica un reducido número de dientes del piñón del motor de arranque (z = 9, 10, 11). El piñón acusa casi siempre un desplazamiento de perfil positivo. Este desplazamiento de perfil se expresa. en dentados pitch de la siguiente forma: Número de dientes, por ejemplo = 9/10, que significa que en una rueda con un diámetro para diez dientes sólo se hallarán 9, lo que corresponde a un factor de desplazamiento de perfil +0,5; pequeñas desviaciones de $x = +0,5$ son totalmente corrientes, pero esto no modifica la escritura del número de dientes = 9/10. (No confundirlo con la expresión P 8/10. Véase en la tabla de abajo y en la página siguiente.)

Dentados corrientes para motores de arranque

Módulo m mm	Diametral pitch P 1/pulgada	Ángulo de ataque del perfil de referencia	Norma americana	Norma europea
2,1167	12/14	12°	SAE J 543 c	ISO 8123 1991 E
2,5	–	15°		ISO 9457 – 1 1991 E
2,54	10/12	20°	SAE J 543 c	ISO 8123 1991 E
3	–	15°		ISO 9457 – 1 1991 E
3,175	8/10	20°	SAE J 543 c	ISO 8123 1991 E
3,5	–	15°		ISO 9457 – 1 1991 E
4,233	6/8	20°	SAE J 543 c	ISO 8123 1991 E

Ruedas dentadas americanas

La norma está basada en dar en lugar del módulo, el número de dientes por pulgada de diámetro de círculo primitivo = Diametral Pitch (P).

$P = z/d$

Para la conversión se tiene:

Módulo m = 25,4 mm/P

La división del dentado en el círculo primitivo se denomina Circular Pitch (CP)

$$CP = \frac{1\,\text{pulg.}}{P} \cdot \pi$$

división t = 25,4 mm · CP

Dientes normales (dientes de profundidad total = full depth teeth)
Tienen una altura de cabeza $h_a = m$ tal como la norma alemana, pero en cambio, a menudo la profundidad del pie del diente se desvía ligeramente.

Dientes achatados (stub teeth)
Las fórmulas son las mismas que para los dientes normales, pero el cálculo de la altura de diente se basa en otro módulo diferente al que se emplea para las medidas normales. Expresión (ejemplo):

P 5/7 — P 7 para el cálculo de la altura del diente
└── P 5 para el cálculo de todas las demás dimensiones

Conceptos fundamentales con su cálculo:

Outside Diameter (Diámetro exterior):
$OD = d_a$
d_a Diámetro del círculo de cabeza

Pitch Diameter:
$PD = z/P = d$ en pulgadas;
d diámetro del círculo primitivo.

Root Diameter:
$RD = d_f$
d_f diámetro del pie del diente.

Layout Diameter:
$LD = (z + 2x)/P$ en pulgadas (diám. de trazado),
$LD = (z + 2x) \cdot m$ en mm,
$LD \approx d_w$
d_w diámetro de base.

Measurement over D_M-pins:
M_d = Medida de rodillos en D_M rodillos.

Comprobación del cálculo del factor de desplazamiento de perfil x, partiendo del ancho de diente W_k en z dientes:

$$x = \frac{(W/m_n) - [(k - 0,5)\cdot\pi + z_i \cdot \text{inv}\,\alpha_n] \cdot \cos\alpha_n}{2 \cdot \text{sen}\,\alpha_n}$$

Diametral pitches P y módulos calculados partiendo de los mismos

Diametral Pitch P en 1/pulg.	Corresp. al módulo m en mm	Diametral Pitch P en 1/pulg.	Corresp. al módulo m en mm	Diametral Pitch P en 1/pulg.	Corresp. al módulo m en mm
20	1,27000	**6**	4,23333	**2**	12,70000
18	1,41111	5,5	4,61818	1,75	14,51429
16	1,58750	**5**	5,08000	**1,5**	16,93333
14	1,81429	4,5	5,64444	**1,25**	20,32000
12	2,11667	**4**	6,35000	**1**	25,40000
11	2,30909	3,5	7,25714	0,875	29,02857
10	2,54000	**3**	8,46667	**0,75**	33,86667
9	2,82222	2,75	9,23636	**0,625**	40,64000
8	3,17500	**2,5**	10,16000	**0,5**	50,80000
7	3,62857	2,25	11,28889		

Cálculo de la capacidad de carga

Paralelamente a la DIN 3990, "Cálculo de la capacidad de carga de ruedas de dentado recto y oblicuo", se mantiene el sistema siguiente como cálculo aproximado. Es válido para un engranaje suelto con 2 ruedas dentadas como engranaje de pie. En las fórmulas que siguen hay que poner las magnitudes en las unidades siguientes:

Magnitud		Unidad
P	Potencia	kW
P_{CV}	Potencia	CV
M	Par	N · m
n	Núm. revoluciones	min^{-1}
F	Fuerza tangencial	N
u	Relación dientes	–

Magnitud		Unidad
φ	Factor de vida	–
HB	Dureza Brinell	
HRC	Dureza Rockwell	
b_N	Ancho diente utiliz.	mm
k	Presión rodadura	N/mm^2
L_h	Vida	h

Potencia	$P = 0{,}736 \cdot P_{CV}$ $= M \cdot n/9549$ $= F_t \cdot d \cdot n/(19{,}1 \cdot 10^6)$
Fuerza tangencial En circ. base	$F_{tw} = 2000 \cdot M/d_w = 19{,}1 \cdot 10^6 \cdot P/(d_w \cdot n)$
En círc. prim.	$F_t = 2000 \cdot M/d = 19{,}1 \cdot 10^6 \cdot P/(d \cdot n)$
Rel. número dientes	$u = z_2/z_1 = n_1/n_2$ p. engran. de coronas huecas $u < -1$
Factor de vida	$\varphi = \sqrt[6]{5000/L_h}$ o de la tab. pág. 295
Pres. rodadura para la rueda pequeña	$k_{zul} = \dfrac{(HB)^2}{2560 \cdot \sqrt[6]{n}} = \dfrac{(HRC)^2}{23{,}1 \cdot \sqrt[6]{n}}$ o de la tab. pág. 295
Dentado recto	$k_{IST} = \dfrac{F_{tw}}{b_N \cdot d_{w1}} \cdot \dfrac{4(u+1)}{u \cdot \text{sen } 2\alpha_w}$
Dentado oblicuo	$k_{IST} = \dfrac{F_{tw}}{b_N \cdot d_{w1}} \cdot \dfrac{4(u+1) \cdot \cos^2\beta}{u \cdot \text{sen } 2\alpha_{wt}}$ $\cos^2\beta$ sólo en el caso de gráfico de contacto completo, sino = 1
Seguridad contra picaduras	$S_w = \varphi \cdot k_{ad}/k_{real} \geq 1$

Se tiene seguridad contra las picaduras y agarrotamientos ocasionados por una presión de rodadura demasiado elevada, cuando las ecuaciones para S_w para la rueda pequeña (rueda 1) dan un valor igual o mayor que 1. En engranajes con un par de ruedas, con $z_1 < 20$ a causa de las presiones de rodadura más elevadas en el punto único interior de ataque, hay que elegir un S_w =1,2 a 1,5. Puesto que la presión de rodadura k para la rueda y la contrarrueda son iguales, se puede elegir para la rueda 2, partiendo de la tabla, para k_{ad} (admisible) un material que para el número de revoluciones n_2 tenga por lo menos la misma presión de rodadura que la rueda 1.

Los valores k_{ad} de la tabla son válidos para el caso en que ambas ruedas sean de acero. Para fundición sobre acero, o bronce sobre acero, hay que tomar unos valores aproximadamente 1,5 veces mayores; para fundición sobre fundición, o bronce sobre bronce, aproximadamente 1,8 veces mayores. Para la rueda con superficie no templada se permiten valores de k_{ad} un 20 % más altos, cuando engrana con una rueda con flancos templados. Los valores de las tablas son válidos para una vida de 5.000 horas. En la ecuación de S_w se contempla otra vida por medio del factor vida φ.

Presión de rodadura admisible k_{ad} en N/mm^2 para una vida L_h = 5.000 h.

Dureza dientes		Núm revol. min^{-1} (para 1 cambio de carga en cada rev.)											
HB	HRC	10	25	50	100	250	500	750	1000	1500	2500	5000	1000 0
90		2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,05	1,0	0,94	0,86	0,77	0,68
100		2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,15	1,06	0,94	0,84
120		3,8	3,3	2,9	2,6	2,2	2,0	1,9	1,8	1,66	1,53	1,36	1,21
140		5,2	4,5	4,0	3,6	3,0	2,7	2,5	2,4	2,26	2,08	1,85	1,65
170		7,7	6,6	5,9	5,2	4,5	4,0	3,75	3,6	3,34	3,06	2,73	2,43
200		10,7	9,1	8,1	7,3	6,2	5,6	5,2	4,9	4,6	4,24	3,78	3,37
230		14,1	12,1	10,8	9,6	8,2	7,3	6,9	6,5	6,1	5,61	5,0	4,45
260		18,0	15,4	13,8	12,2	10,5	9,4	8,8	8,4	7,8	7,17	6,39	5,69
280		20,9	17,9	16,0	14,2	12,2	10,9	10,2	9,7	9,0	8,31	7,41	6,6
300		24,0	20,6	18,3	16,3	14,0	12,5	11,7	11,1	10,4	9,54	8,5	7,6
330		29,0	24,9	22,2	19,8	17,0	15,1	14,1	13,5	12,6	11,6	10,3	9,2
400		42,6	36,6	32,6	29,0	24,9	22,2	20,7	19,8	18,5	17,0	15,1	13,5
	57	96,0	82,3	73,3	65,3	56,0	49,9	46,7	44,5	41,6	38,2	34,0	30,3
	≥ 62	112	96,5	86,0	76,6	65,8	58,6	54,8	52,2	48,8	44,8	39,9	35,6

Los materiales correspondientes se toman de la tabla "Valores de resistencia" de la página 297.

Factor de vida φ

Factor para convertir los valores de la tabla para una vida de 5000 horas, a otra vida.

Vida en horas de función L_h	10	50	150	312	625	1200	2500	5000	10000	40000	80000	150000
Factor de vida φ	2,82	2,15	1,79	1,59	1,41	1,27	1,12	1	0,89	0,71	0,63	0,57

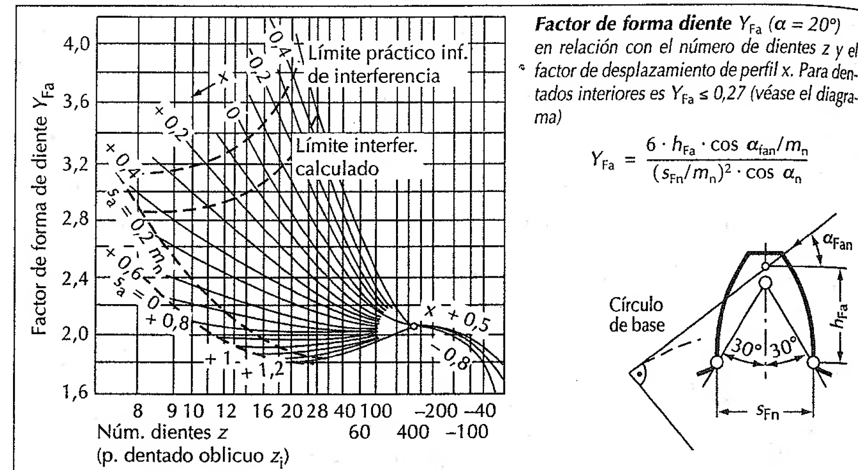
Indicaciones para la elección de vida: Engranajes a carga completa continua 40000 a 150000 horas de trabajo; engranajes que sólo funcionan periódicamente, o que funcionan sólo con carga parcial, 50 a 5000 horas de trabajo.

Cálculo de dientes respecto a la flexión o rotura

Velocidad tangencial $v_1 = v_2$ m/s	$v_1 = \dfrac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000}$ d_1 en mm, n_1 en min^{-1}, $\pi = 3{,}1416$	
Coefic. de velocidad f_v	Se toma de la tab. o se calcula	
Tensión adm. en pie diente $\sigma_{F\,ad}$ N/mm²	$\sigma_{F\,lim}$ y Y_{NT} se toman de la tab. pág. 297; los valores interm. se interpolan $\sigma_{F\,ad} = \sigma_{F\,lim} \cdot Y_{NT} \cdot Y_L$ $Y_L = 1$ P. solicit. continua $Y_L = 0{,}7$ a carga alternada	
Factor for. diente y_{Fa}	Se toma del diagrama de abajo	
Tensión en pie diente $\sigma_{F\,real}$ N/mm²	para dentado recto $\sigma_{F\,real} = \dfrac{F_t}{b \cdot m} \cdot \dfrac{Y_{Fa}}{f_v \cdot \varepsilon_\alpha}$ ε_α en pág. 290 m, m_n, b en mm, F_t en N v. pág. 294	para dentado oblicuo $\sigma_{F\,real} = \dfrac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot \dfrac{Y_{Fa}}{f_v \cdot \varepsilon_\alpha}\left(1 - \dfrac{\varepsilon_\beta \cdot \beta}{120°}\right)$ donde $(1 - \varepsilon_\beta \cdot \beta/120°)$ debe ser $\geq 0{,}75$, ε_β en pág. 290, β en °
Seguridad contra rotura diente S_F	$S_F = \sigma_{F\,ad}/\sigma_{F\,real} \geq 1$	

Se tiene seguridad contra la rotura de dientes cuando las ecuaciones S_p para la rueda pequeña (rueda 1) dan un valor igual o mayor que 1.

Si se elige para la rueda 1 un material mejor que para la rueda 2, se calcula entonces la flexión para la rueda 2.



Factor de forma diente Y_{Fa} ($\alpha = 20°$) *en relación con el número de dientes z y el factor de desplazamiento de perfil x. Para dentados interiores es* $Y_{Fa} \leq 0{,}27$ *(véase el diagrama)*

$$Y_{Fa} = \frac{6 \cdot h_{Fa} \cdot \cos \alpha_{Fan}/m_n}{(s_{Fn}/m_n)^2 \cdot \cos \alpha_n}$$

Factor de velocidad f_v

Material	Veloc. tangencial v en m/s							Ecuac. que ha servido de base
	0,25	0,5	1	2	3	5	10	
Acero y otros metales	Factor veloc. f_v							
	0,96	0,93	0,86	0,75	0,67	0,55	0,38	$f_v = \dfrac{A}{A + v}$ (1)
Tejido duro y otros no met.	0,85	0,75	0,62	0,5	0,44	0,37	0,32	$f_v = \dfrac{0{,}75}{1 + v} + 0{,}25$

Material para ruedas dentadas

Material		Estado	Resist. a tracc. R_m N/mm² mín.	Resist. a fatig. p. flex. altern. σ_{bw} N/mm² mín.	Dureza HB o HRC mín	Tens. pie diente adm.(2) $\sigma_{F\,lim}$ N/mm²	Factor de vida Y_{NT}(3) p. el núm. cambios de carga $N_L = L_h \cdot 60 \cdot n$ ≥ 3 · 10⁶	10⁶	10⁵	10⁴	10³
Acero bonificado	St 60-2, C45	Recocido bonific. bonific.	590 685 980	255 295 410	170 HB 200 HB 280 HB	160 185 245	1	1,25	1,75	2,5	2,5
	St 70-2, C 60	Recocido bonific. bonific.	685 785 980	295 335 410	200 HB 230 HB 280 HB	185 209 245					
	50 Cr V 4	Recocido bonific. bonific.	685 1130 1370	335 550 665	200 HB 330 HB 400 HB	185 294 344					
	37 Mn Si 5	Recocido bonific. bonific.	590 785 1030	285 355 490	170 HB 230 HB 300 HB	160 200 270					
Acero de cementación	RSt 34-2, C 15	Recocido Temple superf.	335 590	175 255	100 HB 57 HRC	110 160	1 1	1,25 1,2	1,75 1,5	2,5 1,9	2,5 2,5
	16 Mn Cr 5	Recocido Temple superf.	800 1100	– –	150 HB 57 HRC	– 300	– 1	– 1,2	– 1,5	– 1,9	– 2,5
	20 Mn Cr 5	Recocido Temple superf.	590 1180	275 590	170 HB 57 HRC	172 330	– 1	– 1,2	– 1,5	– 1,9	– 2,5
	18 Cr Ni 8	Recocido Temple superf.	640 1370	315 590	190 HB 57 HRC	200 370	– 1	– 1,2	– 1,5	– 1,9	– 2,5
Fundición	GG-18	–	175		200 HB	50	1	1,1	1,25	1,4	1,6
	GS-52.1	–	510		140 HB	110	1	1,25	1,75	2,5	2,5
	G-SnBz 14	–	195		90 HB	100	1	1,25	1,75	2,5	2,5
Poliamida PA 66 PA 66 + 30% GF		a 60°	– 140	40 43	– –	27 29	1	1,2	1,75	–	–
Tejido duro fino grueso			– –	– –	– –	75 50	1 1	1,15 1,2	1,4 1,6	1,65 2,1	2,0 2,8

En los aceros bonificados hay que dar dos valores. En las ruedas pequeñas hasta un módulo de aproximadamente 3 se puede prescribir el mayor de ambos valores. Sin embargo en las ruedas muy grandes sólo se puede conseguir con seguridad el valor más pequeño.

(1) Los valores son válidos para $A = 6$ (corresponde a una calidad de dentado medio). Para ruedas dentadas fundidas $A = 3$, para ruedas dentadas de más alta precisión $A = 10$.

(2) Para solicitación alternativa continuada con una resistencia a la fatiga de $N_L \geq 3 \cdot 10^6$. Para solicitación alternativa (ruedas intermedias) tener en cuenta el factor de alternancia Y_L.

(3) En cuanto a la resistencia a la fatiga, la tensión a la flexión en el pie de diente según el número de cambios de carga $N_L = L_h \cdot 60 \cdot n$ hay que multiplicarlo por el factor Y_{NT}.

Transmisión por correa

Transmisión por correa por arrastre de fuerza

Magnitudes y unidades

Magnitudes		Unidades
A	Sección del perfil	mm²
F	Fuerza de aprieto	N
F_1	Fuerza conduc. en tramo trac.	N
F_2	Fuerza conduc. en tramo arrastre	N
F_F	Fuerza centríf. correa	N
F_f	Fuerza centríf. en c. tramo	N
F_R	Fuerza rozamiento	N
F_u	Fuerza tangencial	N
F_v	Tensión inicial	N
F_w	Tensión en eje	N
P	Transmis. potencia neces.	kW
k_1	Factor de tensión inicial para tener en cuenta las condiciones de servicio	–
k_2	Factor de fuerza centrífuga	–
v	Velocidad correa	m/s
z	Número correas (trapezoidales normales o nervadas)	–
α	Áng. de cuña de correa trapez.	°
β	Áng. abrazado	°
μ	Coef. rozamiento	–
μ'	Coef.. rozam. en correa trapez.	–
ρ	Dens. med. material correa	g/cm³

Transmisión de fuerza

De la ecuación general del rozamiento

$F_R = \mu \cdot F$

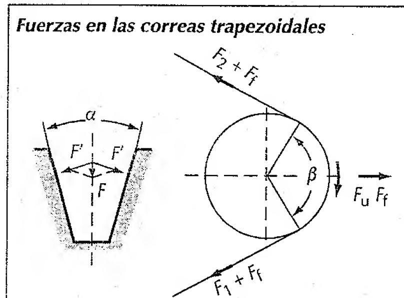
se deduce para las poleas con correas trapezoidales (ver figura)

$F_R = \mu \cdot 2 \cdot F'$

o bien $F_R = \mu' \cdot F$

con $\mu' = \mu / \text{sen}\,(\alpha/2)$

La relación límite para la transmisión de rozamiento de adherencia a rozamiento de deslizamiento es la ecuación de Eytelwein:



Fuerzas en las correas trapezoidales

$F_1/F_2 = e^{\mu'\beta}$

con $\mu' \approx 0{,}5 \pm 0{,}15$

Según datos del fabricante de correas teniendo en cuenta diferentes factores de seguridad.

Mientras la relación de fuerzas en los tramos sea

$F_1/F_2 \leq e^{\mu'\beta}$

no resbala la correa al transmitir la fuerza tangencial

$F_u = F_1 - F_2 = P \cdot 1020/v$

Para la transmisión de la fuerza tangencial F_u se necesitará la tensión inicial F_v; a elevadas velocidades de rotación debe tenerse en cuenta además la fuerza centrífuga F_F de la correa.

La fuerza de tensión inicial es:

$F_v = F_w + F_F$

con $F_w = F_u \cdot (e^{\mu'\beta} + 1)/(e^{\mu'\beta} - 1)$

$F_F = 2 \cdot z \cdot F_f \cdot \text{sen}\,(\beta/2)$

$F_f = \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot 10^{-3}$

o simplificada

$F_F = 2 \cdot z \cdot k_2 \cdot v^2 \cdot \text{sen}\,(\beta/2)$

En la práctica basta corrientemente para el cálculo de la tensión inicial la ecuación aproximada :

$F_v = (k_1 \cdot F_u + 2 \cdot z \cdot k_2 \cdot v^2) \cdot \text{sen}\,(\beta/2)$

o en transmisiones con dos poleas la fórmula empírica:

$F_v = (\,1{,}5 \text{ a } 2) \cdot F_u$

Para controlar la tensión inicial de la correa se comparará la fuerza de tracción estática de cada tramo de correa

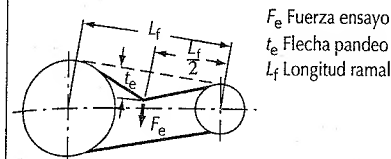
$F_s = F_v/[2z \cdot \text{sen}\,(\beta/2)]$

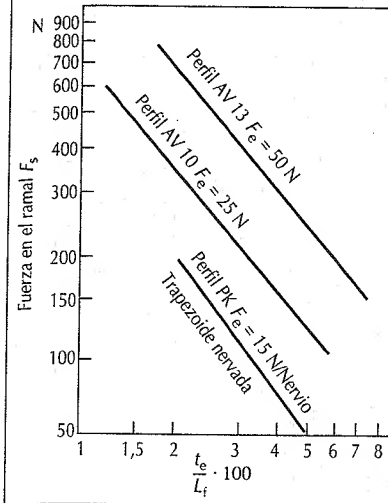
con el valor determinado por la flecha del pandeo del ramal conducido.

En transmisiones preparadas adecuadamente el resbalamiento es inferior al 1% y las correas trapezoidales trabajan con un rendimiento del 94 al 97%. El cálculo de la transmisión por correas se realiza según DIN 2218 o bien por los datos proporcionados por el fabricante de las correas. Los valores de servicio de las correas trapezoidales están calculados para una vida teórica de 25.000 h. Para los cálculos de vida se utilizan programas de ordenador.

La vida de las correas trapezoidales se reduce significativamente al sobrepasar la velocidad máxima admisible y la frecuencia de doblados de la correa; utilizar poleas con un diámetro menor que el mínimo admisible y colocar rodillos tensores en la cara posterior de la correa.

Determinación de la fuerza de tracción estática F_s por medio de la flecha del pandeo del ramal conducido t_e al aplicar la fuerza de ensayo F_e





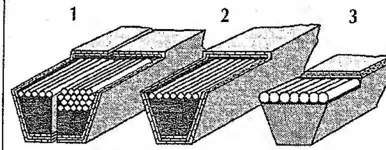
Correas trapezoidales normales

(Correas trapezoidales clásicas)

Según DIN 2215, para aparatos domésticos, máquinas agrícolas, construcción de maquinaria pesada, la relación de anchura a altura tiene que ser 1,6. Las de cordones de cuero y capas de hilos soportan cargas notablemente inferiores a las de las correas trapezoidales estrechas de igual anchura. Son apropiadas por su mayor resistencia a la tracción y rigidez transversal, para transmisiones silenciosas y absorber impulsos bruscos. Admiten velocidades hasta de 30 m/s y frecuencias de flexión hasta 40 s^{-1}. (Las dimensiones de las poleas acanaladas correspondientes están en DIN 2217).

Tipos de correas trapezoidales

1 Correas trapezoidales recubiertas normales, **2** Correas trapezoidales recubiertas estrechas, **3** Correas trapezoidales estrechas sin recubrimientos en los flancos



Factor de tensión inicial k_1

Correa	β	Transmisión: Cargas ligeras constantes	Cargas moderadas	Cargas breves de gran magnitud
Correas trapezoidales	180°	1,5	1,7	1,9
	90°	2,6	2,8	3,0
Correas trapezoidales nervadas	180°	1,8	2,0	2,2
	90°	3,3	3,5	3,7

Los valores intermedios para otros ángulos de abrazado pueden ser interpolados

Correa	Sección transversal	Factor de fuerza centrífuga k_2
Correas trapezoidales	SPZ	0,07
Correas trapezoidales	SPA	0,12
nervadas	K	0,02

Correas trapezoidales estrechas

Según DIN 7753, Parte 1, Construcción de máquinas, vehículos fabricados en las décadas de 1960 y 1970. Relación ancho máximo a altura: 1,2. Se han desarrollado partiendo de las correas trapezoidales normales, eliminándoles la parte media que menos participa en la transmisión de potencia. Tienen mayor capacidad de carga que las correas trapezoidales normales de igual anchura. El tipo dentado es para menos trabajo de la parte externa en las flexiones sobre poleas pequeñas. Son admisibles velocidades de correa hasta de 42 m/s y frecuencias de flexión hasta 100 s^{-1}. (Las dimensiones de las poleas correspondientes están en DIN 2211.)

Correas trapezoidales sin recubrimiento en los flancos

Correas trapezoidales normales de flancos sin recubrir según DIN 2215 y correas trapezoidales estrechas sin recubrimiento en

los flancos para la construcción de vehículos, según DIN 7753, Parte 3 (en proyecto). Los hilos dispuestos transversalmente a la dirección del movimiento en el interior de la correa confieren gran flexibilidad y al mismo tiempo mayor resistencia a la abrasión. Además queda muy bien sostenida la fibra de tracción especialmente preparada. Con ello se obtiene una mayor capacidad de carga y mayor duración que en el caso de correas trapezoidales estrechas o revestidas, sobre todo tratándose de poleas de poco diámetro.

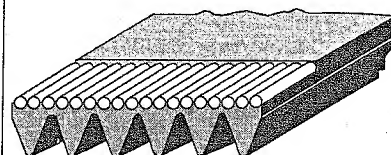
Innovación

El último desarrollo son las correas trapezoidales con Kevlar como material de la fibra de tracción. El Kevlar tiene una resistencia a la tracción muy elevada con escaso alargamiento y una resistencia térmica muy grande.

Correas trapezoidales nervadas (Correas poli-V)

Según DIN 7867. Muy flexibles, la polea puede discurrir también por la parte posterior de la correa. De ese modo se pueden accionar con una sola transmisión varios grupos (dinamo, ventilador, bomba de agua, compresor del aire acondicionado, bomba de la servodirección, etc.) siempre y cuando se disponga de suficiente ángulo de abrazo. De los perfiles H, J, K, L y M el perfil K se encuentra ahora en automóviles. Las poleas pueden tener un diámetro pequeño ($d_{wmin} \approx$ 45 mm) cuando son para correas trapezoidales estrechas (perfil AYX 10). A igualdad de transmisión de potencia es necesaria una tensión como un 20% mayor que para las poleas trapezoidales estrechas.

Correas trapezoidales nervadas
(Correas poli-V)

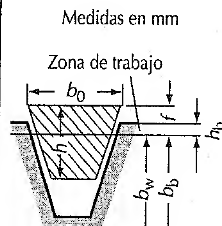


Correas trapezoidales estrechas para vehículos según DIN 7753 Parte 3
Ejemplo de denominación: Correas trapezoidales estrechas DIN 7753 AVX 10 x 750 La.
De flancos sin recubrir, con símbolo de perfil de correa AVX 10 L_a = 750 mm

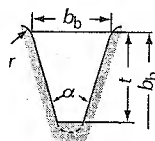
Correas trapezoid. estr.		Revestidas		De flancos s. revestir			
				Perfil mac (V)		Dentadas	
Perfil de correa	Símbolo	9,5	12,5	AVP10	AVP13	AVX10	AVX13
	Símbolo ISO	AV 10	AV 13	AV 10	AV 13	AV 10	AV 13
Anchura sup. correa	$b_0 \approx$	10	13	10	13	10	13
Altura correa	$h \approx$	8	10	7,5	8,5	8	9
Dif. resp. línea ref	h_b	1,8	2,6	0,9			
Sobresaliente correa	f_{max}	–		2,4			
Longitud referencia	L_a	500 hasta 2550: a tramos de 25 mm					

Medidas en mm

Zona de trabajo



Símbolo sec. transv. garganta		AV 10		AV 13	
Diám. referencia	d_b	<57	≥57	<70	≥70
Áng. garganta	$\alpha \pm 0{,}5°$	34	36	34	36
Ancho referencia	b_b	9,7		12,7	
Prof. garganta	t_{min}	11		14	
Radio redondeo	r	0,8			
Dist. gargantas	e_{min}	12,6		16	



Transmisiones por correas en arrastre de forma

Correas dentadas según DIN/ISO 5296

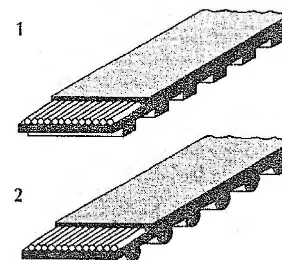
Utilización en vehículos como accionamientos de árboles de levas separado de la distribución de encendido.

Las correas dentadas con perfil de diente trapezoidal o redondeado unen a las ventajas de la correa trapezoidal (distancia entre ejes a discreción, funcionamiento con poco ruido, escaso mantenimiento), las de la transmisión de fuerza inherentes al arrastre de forma (funcionamiento más sincrónico, duración de los cojinetes por la poca carga axial).

Las correas dentadas deben estar conducidas por ambos lados para evitar que se salgan. Para ello se utiliza o bien una polea dentada con disco limitador en cada lado, o bien dos poleas dentadas con un disco limitador de borde cada una dispuestas en lados opuestos.

Las medidas de las poleas dentadas se encuentran en DIN/ISO 5294.

Correas dentadas
1 Con perfil de dientes trapezoidales
2 Con perfil de dientes redondeados



Correas trapezoidales nervadas y poleas trapezoidales acanaladas según DIN 7867

Designación de una correa trapezoidal nervada con 6 nervios de la denominación de perfil abreviada K y de largo de referencia 800 mm: correa trapezoidal nervada DIN 7867 –6 PK 800

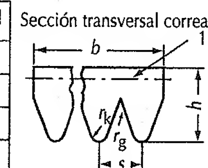
Designación de la polea trapezoidal acanalada correspondiente con diámetro de referencia 90 mm: Polea trapezoidal acanalada DIN 7867 –6 Kx 90

Diferencias de medida en mm	Correa	Canales de perfil
Signo abreviado de perfil	PK	K
Distancia entre nervios o canales *s* o *e*	3,56	3,56
Diferencia admitida de *s* o *e*	± 0,2	± 0,05
Suma diferencia admitida de *s* o *e*	± 0,4	± 0,30
Ángulo del canal α		40° ± 0,5°
r_k en cabeza de nervios o r_a en cabeza del canal	0,50	0,25
r_g al fondo del nervio o r_i al fondo del canal	0,25	0,50
Altura de la correa h	6	
Diámetro nominal barra de comprobación d_s		2,50
Valor nominal $2 \cdot h_s$		0,99
$2 \cdot \delta$ (ver figura)		2,06
f (ver figura)		2,5

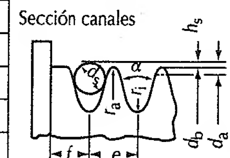
Ancho de correa $b = n \cdot s$
con n = número de nervios

Diámetro de trabajo para perfil K $d_w = d_b + 2h_b$
h_b = 1,6 mm

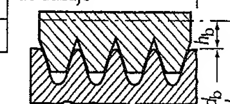
Sección transversal correa



Sección canales



Determinación del diámetro de trabajo



1 Capa de la cuerda de tracción

Técnica de atornillado

Magnitudes y unidades

Magnitudes		Unidad
A_s	Sección en tensión de la rosca del tornillo, pág. 304	mm^2
D_{Km}	Diám. útil p. el momento de rozamiento en el asiento de la cabeza del tornillo o de la tuerca	mm
F_M	Fuerza de tensión en el montaje (gral.)	N
F_{sp}	Fuerzas de tensión (axial) en montaje del tornillo con una utilización del 90% del límite elástico o de alargamiento	N
M_M	Par de aprieto p. el montaje	N · m
M_{sp}	Par tensor (par de apriete de fijación de un tornillo) de fuerza de tensión F_{sp})	N · m
P	Paso de rosca del tornillo	mm
d	Diám. del tornillo (diám. ext. de la rosca)	mm
d_2	Diám. medio del flanco de la rosca del tornillo	mm
d_3	Diámetro del núcleo del tornillo	mm
μ_G	Coeficiente de rozamiento en la rosca	–
μ_{ges}	Valor medio del coefic. de rozam. para la rosca y el asiento de la cabeza o de la tuerca	–
μ_K	Coefic. de rozam. para el asiento de la cabeza o la tuerca	–
$\sigma_{0,2}$	Lím. elást. al 0,2% del material del tornillo (en el caso de tornillo de poca resist. en vez de éste se toma el lím. elást. σ_s; véase nota (1) pág. 53)	N/mm^2

Reglas básicas

Los tornillos deben fijar las piezas a unir con unas fuerzas de magnitud tal que las mantengan unidas en todas las condiciones de trabajo sin movimiento relativo entre ellas. Los tornillos no deben trabajar a cortadura.

De las fuerzas más o menos axiales que se manifiestan en el tornillo y de sus magnitudes en servicio, *casi siempre variables* si el tornillo está bien apretado, sólo tiene que absorber una fracción de las mismas. La máxima rigidez en las piezas a unir y los tornillos elásticos (de las clases 8.8 a 12,9 con fuerza de apriete óptima) dan las solicitaciones a la fatiga por vibración más pequeñas de los tornillos; las tensiones fuertes son también la *mejor medida contra el aflojamiento* (asientos adicionales en las ranuras) y desenroscado. Como regla general, se puede suponer una disminución del 10 al 20 % en la fuerza de aprieto de un tornillo 8,8 por asentamiento, si la temperatura máxima es de 100 °C y las piezas unidas son metales con una resistencia mínima a la tracción de 300 N/mm².

La parte tensada del tornillo debe tener como mínimo una longitud libre de rosca de $0{,}5d$ y a ser posible $1{,}0d$.

La fuerza elástica de las arandelas (Grower y otras) debe ser tan grande como la fuerza de aprieto del tornillo, cuando quedan planas al apretarlas. Para tornillos de las clases de resistencia ≥ 8,8 y longitudes de alargamiento de tornillo libres > $2{,}5d$ así como en la unión de piezas metálicas, las arandelas Grower casi siempre son desventajosas (ya que $F \ll F_{sp}$ y juntas de asiento adicionales) Para tornillos 4.8 y 5.6/5.8 son innecesarias las arandelas Grower para alargamientos ≥ $5d$.

Las *presiones bajo las superficies* de las cabezas o las tuercas no deben sobrepasar el límite de fluencia en compresión (que corresponde como mínimo al 0,2 % del límite de alargamiento) del material de las piezas unidas (en caso contrario colocar arandelas grandes o tornillos de cabeza hexagonal con brida).

Las uniones de platinas con 4 tornillos son en general más seguras que con sólo 3 equidistantes 120° (en este caso, la rotura de un tornillo supone el fallo total).

Clases de resistencia

El *sistema de denominación para tornillos* se compone de dos números, separados por un punto. El primer número da ≈ 1/100 de la resistencia a la tracción mínima en N/mm²; el segundo el décuplo de la relación entre el límite elástico mínimo (por ejemplo, alargamiento al 0,2 %) y la resistencia a la tracción mínima.

Las clases de resistencia de las *tuercas* normales (con alturas nominales) ≥ $0{,}8d$ y anchos de llave ≥ $1.45d$) se denominan con

Tabla 1. Datos de resistencia e identificación de tornillos
Los tornillos de aceros aleados con boro de bajo contenido en C de la clase resistencia 10.9 llevan una línea debajo de su símbolo: 10.9 (ver también DIN-EN 20 898, parte 1)

Clase de resistencia		3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	8,8	10,9	12,9
Resistencia a tracción σ_B N/mm²	min	330	400	420	500	520	600	800	1040	1220
	max ≈	490	550		700		800	1000	1200	1400
Límite elástico inferior R_{el} N/mm²	min	180	240	320	300	400	480	–	–	–
Lím. elást. al 0,2% $\sigma_{0,2}$	min	–	–	–	–	–	–	640	900	1080
Dureza Vickers HV 30	min	95	120	130	155	160	190	250	320	385
	max	250						320	380	435

un número que corresponde a 1/100 de la tensión de prueba en N/mm². La tensión de prueba es la resistencia mínima a la tracción de un tornillo de la misma clase de resistencia. La comprobación de que puede soportar la tensión de prueba se hace con una rosca de mayor resistencia (mínimo 45 HRC); después de retirada la carga, la tuerca debe poder seguir moviéndose por la rosca.

Las clases de resistencia para las tuercas

4	5	6	8	10	12

para las tuercas con capacidad de carga restringida

04	05	(p.ej., tuercas planas)

A partir de 5 mm de diámetro de rosca,

- los tornillos de la clase 8.8 y superiores

y

- las tuercas de todas las clases deben llevar grabada en la cabeza del tornillo, o en la cara frontal de las tuercas la clase de resistencia (en tornillos pequeños el punto entre los números no se pone; en las tuercas, y según un sistema codificado, se puede indicar por un sistema de entallas y puntos en el bisel).

La durabilidad a la fatiga de los tornillos de acero conformados en frío hasta M 12 es $\sigma_D = \sigma_m \pm 50$ hasta 60 N/mm² (referida a la sección del núcleo), y siendo hasta

Tabla 2. Datos de calidad para tornillos de otros materiales

Material	Símbolo	Rosca	Lím. elast. al 0,2% N/mm²
X5CrNi 1911	A2-70	≤ M20	450
CuZn37	Cu2	≤ M6	340
		M8... M39	250
CuSn6	Cu4	≤ M12	340
		M14... M39	200
AlMgSi1	Al3	≤ M39	250

tensiones medias $\sigma_m = 0{,}6 \cdot \sigma_{0,2}$ y para todas las calidades de 4.8 a 12.9. Los tornillos de rosca laminada (laminado después del bonificado), hasta M8 pueden alcanzar $\sigma_D = 450 \pm 100$ N/mm², y en el caso de roscas de tuercas de fundición gris y de aluminio hasta ± 120 N/mm².

Aprieto de uniones atornilladas

A mano, se pueden conseguir con un destornillador los pares de apretado de tornillos hasta M5-8.8, con llave Allen hasta máx. M8-10.9 y con llave anular hasta máx. M12-10.9 (calculados para $\mu = \mu_G = \mu_K = 0{,}14$).

Al apretar uniones atornilladas con llaves dinamométricas convencionales, se producen variaciones en la fuerza de aprieto que llegan aproximadamente a 1:2 a causa de

- Variaciones de los coeficientes de rozamiento μ_K y μ_G (para la cabeza y la rosca).
- Variaciones del par de aprieto (en el montaje manual y con destornilladores).

Para $\mu_G = \mu_K = 0{,}1$ el par útil para obtener la fuerza de aprieto es el 17 % del par de aprieto y para $\mu_G = \mu_K = 0{,}2$, sólo el 9,5 % del mismo.

Por el método del par de aprieto y con el de apretado controlado por el límite elástico se pueden conseguir las más altas fuerzas de aprieto con muy pequeñas variaciones. Sin embargo, para estos procedimientos son precisos unos cálculos y ensayos previos, por ejemplo, atornilladores especiales con regulación electrónica. Además, el método del par de aprieto sólo está indicado preferentemente para tornillos de alargamiento; para los de alargamiento restringido, la longitud de agarre (grueso del conjunto de las piezas unidas) por lo menos tiene que ser igual al diámetro nominal del tornillo.

Fórmulas básicas para el aprieto con llave dinamométrica

Se permite una fuerza de aprieto máxima en el montaje, que dé una tensión equivalente a 0,9 × (límite elástico mínimo); esta fuerza de aprieto en el montaje se denomina F_{ap}. Se calcula la tensión equivalente para la sección en tensión

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2$$

la cual con la tracción axial estática y las tensiones de torsión (originadas por el rozamiento de la rosca) se pueden considerar como si fueran una pieza de construcción lisa (A_s es mayor que la sección del núcleo por el impedimento a la deformación a través de los filetes de la rosca). Así resulta

$$F_{sp} = \frac{0{,}196(d_2 + d_3)^2 \cdot 0{,}9 \cdot \sigma_{0,2}}{\sqrt{1 + 4{,}86\left(\frac{P + \mu_G \cdot 3{,}63\, d_2}{d_2 + d_3}\right)^2}}$$

Con esta fórmula se calcularon los valores de la fuerza de aprieto en el montaje F_{sp} de la tabla 5, para diferentes coeficientes de rozamiento de la rosca μ_G.

Para determinar el par de aprieto antes era corriente considerar que $\mu_G = \mu_K = \mu_{ges}$; para llegar a la fórmula simplificada:

$$M_{sp} = \left[F_{sp} 0{,}16P + \mu_{ges}\left(0{,}58\, d_2 + \frac{D_{Km}}{2}\right)\right]$$

o a sus diagramas correspondientes. No obstante, si los coeficientes de rozamiento entre la cabeza y la rosca (véase el ejemplo al final del capítulo) varían, no se pueden calcular bien con esta fórmula los pares de aprieto necesarios (véase también la nota encima de la tabla 4).

Una forma sencilla y práctica de calcular el par de aprieto con diferentes coeficientes de rozamiento μ_G y μ_K es por el Método K (propuesto por Gill, en uso en EE.UU. y contenido en la Guía VDI 2230 de Agosto de 1977).

El par de aprieto en el montaje es entonces

$$M_M = K \cdot F_M \cdot d$$

y para un 90 % de aprovechamiento del límite elástico

$$M_{sp} = K \cdot F_{sp} \cdot d$$

donde

$$K = \frac{0{,}16 \cdot P + \mu_G \cdot 0{,}58 \cdot d_2 + \mu_K \cdot D_{Km}/2}{d}$$

Para diferentes coeficientes de rozamiento μ_G y μ_K y un campo más amplio de medidas de tornillo, se puede dar K tabulado, independiente de d (tabla 4).

Coeficientes de rozamiento

Con la tabla 3 que sigue se determinarán por separado independientemente y uno tras otro los coeficientes de rozamiento para la cabeza en sí (μ_K) y para la rosca (μ_G).

En los tornillos con dientes de inmovilización, arandelas intermedias con cantos vivos que discurren más o menos radialmente y tuercas de seguridad, se pueden elevar considerablemente los coeficientes de rozamiento. Estas uniones atornilladas se deben apretar siguiendo especificaciones especiales.

Aprieto de uniones atornilladas

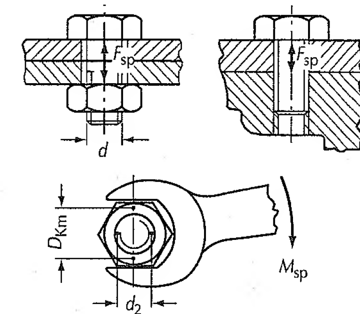


Tabla 3. Coeficientes de rozamiento μ_K y μ_G para diferentes estados superficiales y de engrase

Con $\mu_{G\,min}$ (valor más pequeño de la tabla 3) se ha calculado la fuerza de aprieto F_{sp} de la tabla 5.

Contrasup. pieza a atornillar Superf. asiento en pieza (μ_K) o *rosca de la tuerca* (μ_G)		Estado engrase	**Superficies en el tornillo** Cara inf. cabeza tornillo o tuerca (μ_K) o *rosca del tornilo* (μ_G) — Ac pavonado o fosfatado c. Zn: prensable laminado	torneado cortado	Acero cincado 6 μm
Acero,	laminado	con una ligera cantidad de aceite	0,13...0,19	0,10...0,18	0,10...0,18
	cepillado, fresado, torneado, cortado		0,10...0,18	–	0,10...0,18
	rectificado		0,16...0,22	0,10...0,18	0,10...0,18
GG,	cepillado, fresado torneado, cortado		0,10...0,18	–	0,10...0,18
GTS,	rectificado		0,16...0,22	0,10...0,18	0,10...0,18
Acero,	cadmiado 6 μm		0,08...0,16	0,08...0,16	–
	cincado 6 μm		0,10...0,18	0,10...0,16	0,16...0,18
	cincado, roscas interiores		–	–	0,10...0,18
	rectificado, laminado fosfatado		0,12...0,20	–	–
	mecanizado con arranque de viruta, fosfatado		0,10...0,18	–	–
Aleac. de Al-Mg, mecanizadas, cortadas			0,08...0,20	–	–
Acero,	cadminado 6 μm	en seco	0,08...0,16	–	–
	cadmiado, roscas inter.		0,08...0,14	–	–
	cincado 6 μm		0,10...0,18	–	0,20...0,30
	cincado, roscas interiores		0,08...0,16	–	0,12...0,20

Tabla 4. Valores K

Los valores K son válidos para roscas normalizadas desde M 1.4 hasta M 42 y para tamaños de cabezas o tuercas hexagonales según DIN 931, 933, tornillos cilíndricos con ranura DIN 84, tornillos con hexágono interior (Allen) DIN 912, 6912, 7984 y tuercas DIN 934. Para las roscas M 16 hasta M 42 el valor K hay que reducirlo en un 5%, ya que entre M 14 y M 16 existe un salto importante de la finura de rosca *d/P*.
Los valores intermedios pueden interpolarse con suficiente exactitud.
Nota: Cuando en casos especiales hasta ahora sólo se determinaba μ_{ges}, el valor K se determina con $\mu_K = \mu_G = \mu_{ges}$ (ver párrafo "Apretado de uniones con tornillos").

Coefic. rozamiento p. rosca μ_G	Coefic. de rozamiento p. el asiento de la cabeza del tornillo o la tuerca μ_k: 0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,24	0,28
0,08	0,094	0,108	0,120	0,134	0,148	0,162	0,176	0,190	0,204	0,323	0,260
0,10	0,104	0,118	0,132	0,146	0,158	0,172	0,186	0,200	0,214	0,242	0,270
0,12	0,114	0,128	0,142	0,156	0,170	0,184	0,196	0,210	0,224	0,252	0,280
0,14	0,124	0,138	0,152	0,166	0,180	0,194	0,208	0,222	0,234	0,262	0,290
0,16	0,134	0,148	0,162	0,176	0,190	0,204	0,218	0,232	0,246	0,272	0,300
0,18	0,146	0,160	0,172	0,186	0,200	0,214	0,228	0,242	0,256	2,284	0,312
0,20	0,156	0,170	0,184	0,198	0,210	0,224	0,238	0,252	0,266	0,294	0,322
0,24	0,176	0,190	0,204	0,218	0,232	0,246	0,260	0,274	0,286	0,314	0,342
0,28	0,198	0,212	0,224	0,238	0,252	0,266	0,280	0,294	0,308	0,336	0,362

Fuerzas de apriete axiales de las uniones atornilladas

Campo de aplicación de la tabla 5 para las fuerzas de apriete de montaje F_{ap}.

La tabla 5 siguiente sólo es válida para:

- Tornillos con roscas normalizadas y

$$\frac{\text{Diámetro de vástago } d_1}{\text{Diámetro de núcleo } d_3} \geq 1{,}05$$

- Apareamiento adecuado de las resistencias del tornillo y de la tuerca;
- Altura de tuerca mínimo 0,8 x diámetro de la rosca o suficiente longitud de rosca en alojamientos o similares.

Factores de corrección para las fuerzas de apriete y coeficientes de rozamiento (selección).

Las tuercas planas con una altura de 0,5 de igual resistencia que el tornillo sólo permiten una fuerza de apriete de unión del 80 % de los valores de la tabla; para tuercas planas de poca resistencia (04) con tornillos 12.9 sólo se admite el 33% de F_{ap}.

Para las cabezas de tornillos y tuercas con superficies de asiento más pequeñas o más grandes así como para los tornillos de fijación y de posicionado o ajuste que no asientan por la cabeza, el valor μ_K debe aumentarse o disminuirse en una proporción igual a la del diámetro medio de rozamiento de su superficie de asiento con respecto al diámetro medio de rozamiento de los tornillos y tuercas hexagonales normalizados, arriba mencionados. Sólo con este valor μ_K ficticio corregido se determinará el valor K (por ello en la tabla 4, μ_K es a partir de 0,04). Para tornillos de cabeza avellanada, además de la acción del cono del ángulo de avellanado hay que tener en cuenta también la mayor elasticidad del borde exterior de la cabeza; en los tornillos avellanados normales (ángulo de avellanado 90°), se eleva así μ_K ficticio en un factor de 1,25.

Tabla 5. Fuerzas de apriete F_{sp} en 10^3 N para roscas normalizadas y coeficientes de rozamiento μ_G en la rosca (a un aprovechamiento del 90% de $\sigma_{0,2}$ ó σ_s)

Medida (Paso)	Clase de resist.	F_{ap} (10^3 N) para un coef. de rozam. μ_G en la rosca: 0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,24	0,28
	4.8	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4
	5.8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,8
M 4	8.8	4,5	4,4	4,2	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2	2,9
	10.9	6,4	6,2	5,9	5,7	5,5	5,3	5,0	4,8	4,4	4,1
(0,7)	12.9	7,7	7,4	7,1	6,9	6,6	6,3	6,0	5,8	5,3	4,9
	4.8	3,7	3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	2,9	2,8	2,6	2,4
	5.8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	3,8	3,6	3,5	3,2	3,0
M 5	8.8	7,4	7,2	6,9	6,6	6,4	6,1	5,9	5,6	5,2	4,8
	10.9	10,4	10,1	9,7	9,4	9,0	8,6	8,3	7,9	7,3	6,7
(0,8)	12.9	12,5	12,1	11,7	11,2	10,8	10,3	9,9	9,5	8,7	8,1
	4.8	5,2	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	4,0	3,7	3,4
	5.8	6,6	6,3	6,1	5,9	5,6	5,4	5,2	5,0	4,6	4,2
M 6	8.8	10,5	10,1	9,8	9,4	9,0	8,6	8,3	7,9	7,3	6,7
	10.9	14,7	14,2	13,7	13,2	12,7	12,1	11,7	11,2	10,3	9,5
(1,0)	12.9	17,7	17,1	16,5	15,8	15,2	14,6	14,0	13,4	12,3	11,4
	4.8	9,6	9,3	8,9	8,6	8,3	7,9	7,6	7,3	6,7	6,2
	5.8	12,0	11,6	11,2	10,8	10,3	9,9	9,5	9,1	8,4	7,7
M 8	8.8	19,2	18,6	17,9	17,2	16,5	15,7	15,2	14,6	13,4	12,4
	10.9	27,0	26,1	25,2	24,2	23,2	22,3	21,4	20,5	18,9	17,4
(1,25)	12.9	32,4	31,3	30,2	29,0	27,9	26,8	25,7	24,6	22,6	20,9
	4.8	15,3	14,8	14,2	13,7	13,2	12,6	12,1	11,6	10,7	9,9
	5.8	19,0	18,5	17,8	17,1	16,5	15,9	15,1	14,5	13,4	12,3
M 10	8.8	30,5	29,5	28,5	27,4	26,3	25,3	24,2	23,2	21,4	19,7
	10.9	42,9	41,5	40,1	38,5	37,0	35,5	34,1	32,7	30,1	27,7
(1,5)	12.9	51,5	49,8	48,1	46,2	44,4	42,6	40,1	39,2	36,1	33,2
	4.8	22,2	21,5	20,8	20,0	19,2	18,4	17,7	16,9	15,6	14,4
	5.8	27,8	26,9	25,9	25,0	24,0	23,0	22,1	21,2	19,5	18,0
M 12	8.8	44,5	43,0	41,5	40,0	38,4	36,8	35,3	33,9	31,2	28,7
	10.9	62,5	60,5	58,4	56,2	54,0	51,8	49,7	47,7	43,8	40,4
(1,75)	12.9	75,0	72,6	70,0	67,4	64,8	62,2	59,6	57,2	52,6	48,5
	4.8	30,5	29,6	28,5	27,4	26,4	25,3	24,3	23,3	21,4	19,7
	5.8	38,1	36,9	35,6	34,3	32,9	31,6	30,3	29,1	26,8	24,7
M 14	8.8	61,0	59,1	57,0	54,9	52,7	50,6	48,5	46,5	42,8	39,5
	10.9	85,8	83,1	80,1	77,1	74,1	71,2	68,3	65,5	60,2	55,5
(2,0)	12.9	103	99,7	96,2	92,6	89,0	85,4	81,9	78,5	72,3	66,6
	4.8	41,8	40,5	39,2	37,7	36,3	34,8	33,4	32,1	29,5	27,2
	5.8	52,3	50,7	48,9	47,2	45,4	43,6	41,8	40,1	36,9	34,0
M 16	8.8	83,6	81,1	78,3	75,5	72,3	69,7	66,9	64,2	59,0	54,4
	10.9	118	114	110	106	102	98,0	94,1	90,2	83,0	76,5
(2,0)	12.9	141	137	132	127	122	118	113	108	99,6	91,9
	4.8	65,3	63,3	61,2	59,0	56,7	54,5	52,2	50,1	46,1	42,5
	5.8	81,7	79,2	76,5	73,7	70,9	68,1	65,3	62,7	57,7	53,2
M 20	8.8	131	127	122	118	113	109	105	100	92,3	85,1
	10.9	184	178	172	166	159	153	147	141	130	120
(2,5)	12.9	220	214	206	199	191	184	176	169	156	144

Con respecto a los tornillos 5.8, las fuerzas de aprieto F_{sp} para tornillos de otras clases de resistencia (incluidos los de metales no férreos) hay que convertirlas según su límite elástico o de alargamiento; por ejemplo, para tornillos M6-Cu2 y $\mu_G = 0{,}10$ $F_{ap} = (340/400) \cdot 6{,}1 \cdot 10^3 \approx 5{,}2 \cdot 10^3$ N.

Ventajas del método K con respecto al cálculo empleado hasta ahora para determinar el par de apriete

- Consideración de los distintos coeficientes de rozamiento μ_K y μ_G sin grandes complicaciones.

Con ello se consigue el dimensionado más seguro o la fuerza de apretado mínima de montaje. (Ejemplo abajo calculado con $\mu_{ges} = \mu_K$ se obtiene una elevación no admisible de la fuerza máxima de apretado que llega justo al límite elástico. Si se hubiera calculado con $\mu_{ges} = \mu_G$ el par de apretado habría sido menor y la fuerza de apretado mínima sólo el 68% de 14.800 N)

- Con el fin de dar los valores indicados en la tabla 3 como valores de μ_{ges}, serían necesarios largos trabajos de tablas. La tabla 3 sólo representa una fracción de los mismos.
- El Método K sirve para fijar exactamente el par de apriete al atornillar con llaves dinamométricas y substituye con ventaja a las tablas empleadas hasta ahora y a los diagramas complicados.
- Con los aprietos por límite elástico o por ángulo de giro se logran ahora mejores aprovechamientos de las uniones atornilladas que antes (véase párrafo "Apretado de uniones con tornillos").

Determinación de las fuerzas de aprieto y del par de aprieto

La fuerza de aprieto máxima en montaje que se puede conseguir $F_{ap\ max}$ se determina con el valor mínimo μ_G del coeficiente de rozamiento de la rosca y la tabla 5. (Del par que se ejerce en el vástago del tornillo, la mayor parte se aplica a vencer el rozamiento de la rosca, y sólo una fracción se convierte en fuerza de aprieto, según el paso de la rosca; con un valor máximo de este par y el mínimo de μ_G no se puede sobrepasar la fuerza de aprieto máxima admisible.)

El momento de giro para el aprieto en el montaje máximo permisible $M_{ap\ max}$ se calcula con el valor K partiendo de los valores mínimos de μ_K y μ_G (puesto que al llegarse al momento de giro de aprieto máximo con los valores mínimos de los coeficientes de rozamiento, no se debe sobrepasar la fuerza de aprieto máxima admisible).

$$M_{ap\ min} = K_{min} \cdot F_{ap\ max} \cdot d$$

El par de aprieto mínimo $M_{ap\ min}$ se determina por el método de apretado o por las herramientas utilizadas. Con buenos atornilladores o apretados cuidadosos a mano con llaves dinamométricas, es corriente tener unas variaciones del par nominal de ± 10%, de lo que resulta que el par de aprieto mínimo en el montaje será

$$M_{ap\ min} \approx 0{,}8\ M_{ap\ max}$$

La fuerza de aprieto mínima en montaje $F_{ap\ min}$ alcanzable posiblemente entonces con el valor K de los coeficientes de rozamiento μ_K y μ_G más altos será

$$F_{ap\ min} = M_{ap\ min}/(K_{max} \cdot d)$$

Ejemplo: Un tornillo M10-8.8 (conformado con prensa y laminado, fosfatado) sujeta una pieza de acero rectificada contra una caja de AlMg con agujero ciego roscado; las piezas están ligeramente aceitadas

De la tabla 1: $\mu_K = 0{,}16$ … $0{,}22$

$\mu_G = 0{,}08$ … $0{,}20$ → con $\mu_G = 0{,}08$ se tendrá s. tabla 3: $F_{sp\ max} = 29500$ N

De la tabla 1: $K_{min} = 0{,}176$ | $K_{max} = 0{,}280$

$M_{ap\ max} = 0{,}176 \cdot 29500 \cdot 0{,}010 = 51{,}9$ N · m

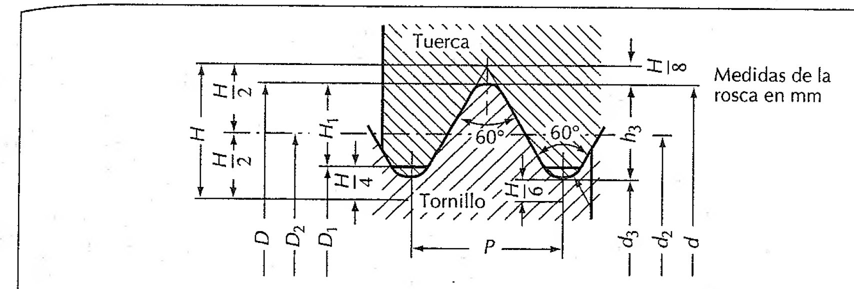
$M_{ap\ min} = 0{,}8 \cdot M_{ap\ max} = 41{,}5$ N · m

$F_{ap\ min} = 41{,}5/(0{,}280 \cdot 0{,}010) = 14800$ N

Roscas

Rosca métrica ISO

(DIN 13): Medidas nominales



Roscas métricas normalizadas

Ejemplo de denominación: M8 (Rosca métrica de 8 mm diámetro nominal)

Ø nom. rosca $d = D$	Paso P	Diám. flanco $d_2 = D_2$	Diám. núcleo d_3	D_1	Prof. rosca h_3	H_1	Secc. en tensión A_s en mm²
3	0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	5,03
4	0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	8,78
5	0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	14,2
6	1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	20,1
8	1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	36,6
10	1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	58,0
12	1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	84,3
14	2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	115
16	2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	157
20	2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	245
24	3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	353

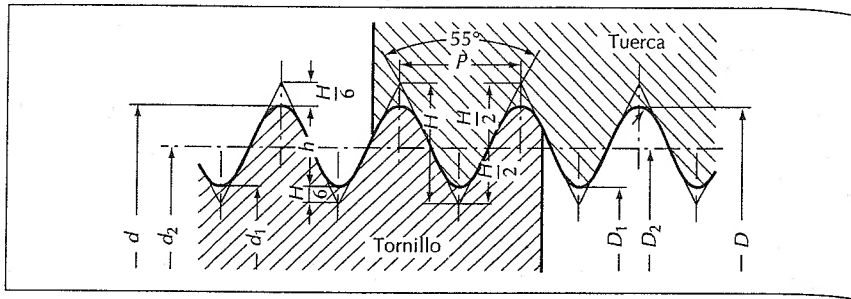
Rosca métrica fina

Ejemplo de denominación: M8 × l (Rosca métrica de 8 mm de diámetro nominal y paso de 1 mm)

Ø nom. rosca $d = D$	Paso P	Diám. flanco $d_2 = D_2$	Diám. núcleo d_3	D_1	Prof. rosca h_3	H_1	Secc. en tensión A_s en mm²
8	1	7,350	6,773	6,917	0,613	0,541	39,2
10	1,25	9,188	8,466	8,647	0,767	0,677	61,2
10	1	9,350	8,773	8,917	0,613	0,541	64,5
12	1,5	11,026	10,160	10,376	0,920	0,812	88,1
12	1,25	11,188	10,466	10,647	0,767	0,677	92,1
16	1,5	15,026	14,160	14,376	0,920	0,812	167
18	1,5	17,026	16,160	16,376	0,920	0,812	216
20	2	18,701	17,546	17,835	1,227	1,083	258
20	1,5	19,026	18,160	18,376	0,920	0,812	272
22	1,5	21,026	20,160	20,376	0,920	0,812	333
24	2	22,701	21,546	21,835	1,227	1,083	384
24	1,5	23,026	22,160	22,376	0,920	0,812	401

Roscas para tubos en uniones roscadas no estancas

(DIN ISO 228, Parte 1); roscas cilíndricas interiores y exteriores; medidas nominales

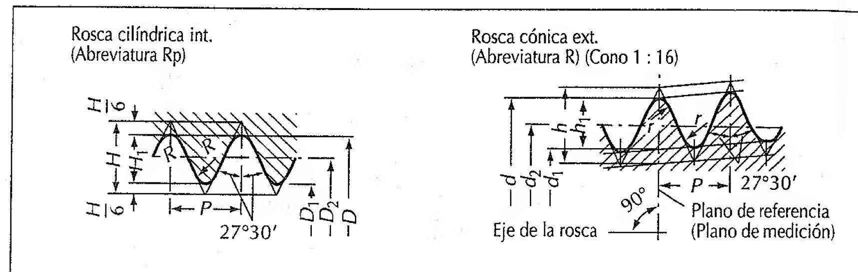


Ejemplo de denominación: G 1/2 (Rosca de diámetro nominal 1/2)

Ø nom. rosca	Núm. hilos en 25,4	Paso P en mm	Profund. rosca h mm	Diám. ext. d mm	Ø sobre flancos d_2 mm	Diám. núcleo d_1 mm
1/4	19	1,337	0,856	13,157	12,301	11,445
3/8	19	1,337	0,856	16,662	15,806	14,950
1/2	14	1,814	1,162	20,955	19,793	18,631
3/4	14	1,814	1,162	26,441	25,279	24,117
1	11	2,309	1,479	33,249	31,770	30,291

Rosca Whitworth para tubos y conexiones roscadas

(DIN 2999); roscas cilíndricas interiores y cónicas exteriores; medidas nominales (en mm)



Símbolo abrev. Rosca exter.	Rosca inter.	Diám. exter. $d = D$	Diám. sobre flancos $d_2 = D_2$	Diám. núcleo $d_1 = D_1$	Paso P	Núm. hilos en 25,4 mm Z
R1/4	**Rp1/4**	13,157	12,301	11,445	1,337	19
R3/8	**Rp3/8**	16,662	15,806	14,950	1,337	19
R1/2	**Rp1/2**	20,955	19,793	18,631	1,814	14
R3/4	**Rp3/4**	26,441	25,279	24,117	1,814	14
R1	**Rp1**	33,249	31,770	30,291	2,309	11

Campo de aplicación: Uniones a base de roscas cilíndricas interiores en grifería, accesorios, bridas roscadas, etc., con roscas exteriores cónicas.

Uniones

Soldadura

Para ensamblar componentes y subgrupos en la construcción del automóvil se utilizan los más diversos procedimientos de unión y de soldadura. A los procedimientos de soldadura más utilizados pertenecen la soldadura a tope por resistencia y la soldadura por fusión. En el resumen se muestran los procedimientos de soldadura por resistencia más usuales en la producción (Tipos de procedimientos y abreviaturas según DIN 1910, parte 5).

Soldadura por resistencia

En la soldadura por puntos por resistencia las piezas a unir se calientan en puntos de contacto entre ellas mediante corriente eléctrica hasta el estado pastoso o líquido fundido y luego se unen a presión. La alimentación de corriente para soldar por puntos es a través de unos electrodos que a su vez transmiten la fuerza para mantener unidas las piezas. Para el cálculo de la cantidad requerida de calor en el punto o lenteja de soldadura se toma la ecuación $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ (ley de Joule).

La cantidad de calor requerido es función de la corriente, la resistencia y el tiempo. Un diámetro de lenteja de soldadura impecable y de suficiente tamaño d_1 se consigue ajustando los siguientes factores:

- corriente de soldadura I
- fuerza de electrodo F y
- tiempo de soldadura t

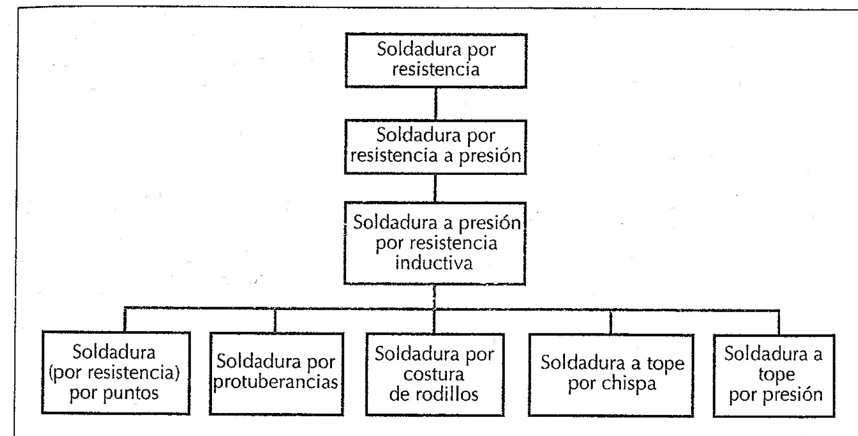
Según el tipo de alimentación de corriente se distingue entre:

- soldadura por puntos directa por las dos caras y
- soldadura por puntos indirecta por una sola cara.

La selección de los electrodos se efectúa según la misión de la unión, su forma, su diámetro exterior así como también el diámetro de la punta del electrodo. Puesto que las piezas a unir no han de tener nunca cascarilla, óxidos, pinturas, grasas ni aceites, recibirán (en caso necesario) antes de la soldadura su correspondiente tratamiento para eliminarlos.

Soldadura por protuberancias

La soldadura por protuberancias es un procedimiento por el cual se aportan a las piezas mediante electrodos de gran superficie, la corriente y la fuerza de soldadura. Las protuberancias en las piezas (por lo general) más gruesas causan una concentración de la corriente en los puntos de contacto y son parcialmente o totalmente comprimidas por la fuerza del electrodo durante el proceso de soldadura. En los puntos de contacto/soldadura se producen uniones inseparables. Según sea la forma de las protuberancias (redondas o anulares) y la potencia del aparato de soldar se pueden soldar una o varias protuberancias



a la vez. Según el número de uniones realizadas se distingue entre:
- soldadura de protuberancias individuales y
- soldadura de protuberancias múltiples.

Este procedimiento requiere altas corrientes de soldadura en tiempos cortos de soldadura.

Aplicación:
- unión de piezas de diferentes espesores,
- soldadura de varias protuberancias en un solo proceso de trabajo.

Soldadura por costura de rodillos

En este procedimiento se sustituyen los electrodos de la soldadura por puntos por electrodos de rodillos. El par de rodillos tocan la pieza en una superficie muy pequeña. El aporte de la corriente y fuerza de soldadura se efectúa a través de los electrodos de rodillos que giran a la velocidad de avance de la pieza.

Aplicación:
Fabricación de costuras estancas por puntos de rodillos (p.ej. depósitos de combustible).

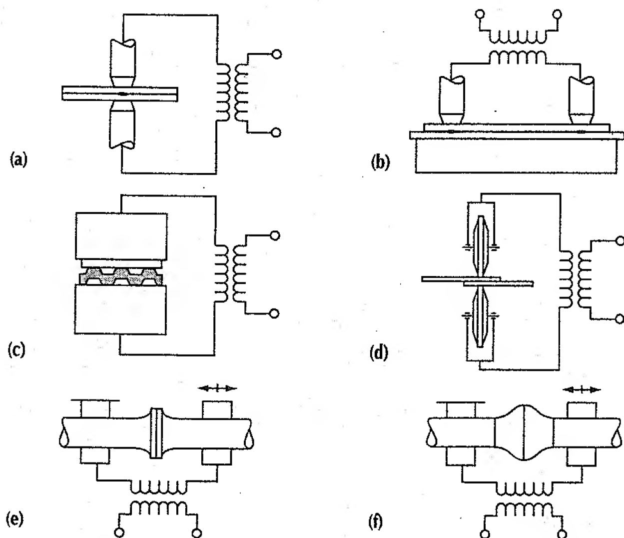
Soldadura a tope por chispa

En la soldadura a tope por chispa se unen con ligera presión las piezas a unir y se calientan las zonas de contacto por el paso de la corriente formando lugares de fusión (alta intensidad de corriente). El material fundido líquido es expulsado de la superficie de la junta por la presión del vapor de metal y produce la soldadura por fuerza de aplastamiento que se produce. Las superficies de junta deben estar casi paralelas y perpendiculares a la dirección de aplastamiento. No es necesario que las superficies sean lisas. La pérdida de longitud causada por la soldadura a tope por chispa debe ser compensada por longitud previa adicional. Resultado: costura de soldadura de conformación característica (rebaba).

Soldadura a tope por presión

En este procedimiento se aporta a la corriente de soldadura hacia los extremos de las piezas mediante mordazas de cobre. Después de alcanzarse la temperatura de soldadura, se desconecta la corriente y con una fuerza constante se presionan entre sí los extremos de las piezas y se sueldan (Condición previa: superficies de junta mecanizadas limpiamente). Se forma así un cordón sin rebabas. Las impurezas que pudiera haber en el lugar de junta no se expulsan del todo.

Procedimientos de soldadura
(a) Soldadura bilateral por puntos por las dos caras, (b) Soldadura por puntos por una sola cara, (c) Soldadura por protuberancias, (d) Soldadura de costura por rodillos (e) Soldadura a tope por chispa, (f) Soldadura a presión por fusión



Soldadura por fusión

Se llama así al proceso de unión de materiales con la ayuda de un flujo de material fundido limitado al lugar utilizando calor sin presión.

La soldadura con gas protector pertenece al grupo de soldadura por fusión. Como fuente de calor se utiliza al arco eléctrico entre el electrodo y la pieza. Un abrigo de gas protector cubre al arco y al baño de fusión frente a la atmósfera. La subdivisión de los siguientes procedimientos se efectúa según el tipo de electrodo:

Soldadura al wolframio y gas inerte
En este procedimiento salta el arco voltaico entre la pieza y un electrodo no fusible de wolframio. Como gases protectores se utilizan el argón y el helio. El aporte de material adicional se efectúa (al igual que en la soldadura de fusión a gas) por una cara.

Soldadura al metal y con gas protector
En este procedimiento salta el arco voltaico entre la pieza y el terminal fusible del electrodo de alambre (material de aportación). La corriente de soldadura fluye del portaelectrodo del aparato para soldar al electrodo de alambre a través de contactos deslizantes. Al utilizar gases inertes (gases inertes a reacciones, como los gases nobles argón, helio o mezclas de ambos) se habla de soldadura al metal con gas inerte. Al utilizar gases activos (p.ej. CO_2 o mezclas de gases que contengan CO_2, argón o partes de oxígeno) se trata de soldadura al metal con gas activo. Es corriente hablar también de soldadura al CO_2.

Este procedimiento se utiliza para la soldadura de aceros sin o de baja aleación.

En la industria del automóvil se utilizan también los siguientes procedimientos:
- soldadura por haz electrónico,
- soldadura por fricción,
- soldadura a presión por arco voltaico (para soldar espárragos),
- soldadura por descarga de condensador (soldadura de impulsos).

Soldadura con estaño

La soldadura con estaño es un procedimiento para obtener uniones no separables de dos o más piezas de materiales iguales o distintos aportando un material fusible adicional (aportación). Adicionalmente se emplean aportaciones y/o gas protector de soldadura. El punto de fusión del material aportado es inferior al punto de fusión de las piezas a unirse. La unión se produce por una impregnación sólida de las superficies de contacto sin que se fundan los materiales a ser unidos.

La subdivisión de los procedimientos de soldadura con estaño se efectúa según la temperatura de trabajo. Esta es la temperatura mínima de la superficie de la pieza en el lugar de unión a la cual la soldadura se puede impregnar, expandir y unir a la pieza.

Soldaduras blandas

Las soldaduras blandas son uniones inseparables con soldaduras de punto de fusión por debajo de 450 °C (p.ej. soldadura de estaño). Las que tienen un punto de fusión hasta 200 °C también se llaman soldaduras rápidas o de infiltración.

Soldaduras fuertes

Las soldaduras fuertes son uniones inseparables con materiales de aportación cuyo punto de fusión es superior a 450 °C (p.ej. aleaciones de cobre/cinc, de cinc/cobre y de plata, es decir soldadura de plata). Otras indicaciones en las hojas de DIN 1707, 8512, 8513 y 8516.

Los fundentes (materiales no metálicos), mediante la limpieza adecuada, deben eliminarse de la superficie soldada, pues forman una capa de óxido; también hay que evitar que vuelvan a formarse, para que la ulterior soldadura pueda impregnar las superficies de unión. Los datos sobre fundentes se encuentran en DIN 8511.

En las soldaduras la unión puede alcanzar la misma resistencia que el material base. Así se evita la deformación de la soldadura al ser el material adyacente de mayor solidez.

Otro criterio para la subdivisión es la forma de calentar. Los dos principales son con soldador y con llama.

Soldadura con llama

El calentamiento se efectúa mediante un quemador conducido a mano o en una instalación calentada a gas. Según el tipo de soldadura se emplean los sopletes de la soldadura oxiacetilénica o las lámparas de soldadura.

Soldadura con soldador

El calentamiento se efectúa mediante hierros soldadores conducidos a mano o por máquinas. También puede emplearse en superficies estañadas de antemano.

Ulteriores procedimientos son: soldadura al horno, en baño de sales, por inmersión, por resistencias y de inducción.

Pegado

El pegado es una técnica para la obtención de uniones inseparables de dos piezas de material metálico o no metálico mediante adhesivos orgánicos o inorgánicos bajo presión, a temperatura ambiente o con calentamiento moderado. La unión se efectúa por adhesión, es decir por fuerzas físico-químicas de unión en el campo molecular de ambas superficies. Según su presentación se distingue entre adhesivos de uno o de dos componentes.

Adhesivos de un componente

Adhesivos que llevan todos los compuestos necesarios para pegar.

Adhesivos de dos componentes

Adhesivos que contienen como segundo componente un endurecedor, el cual induce la reacción de aglomeración. Al endurecedor se le puede adicionar un acelerador. Los adhesivos para metales por regla general son pegamentos de dos componentes. El endurecimiento (reticulación) se efectúa, por efecto del tiempo y/o la temperatura, en forma de polimerización, policondensación o poliadición. Así se forman macromoléculas reticuladas espacialmente. Según sean las temperaturas de endurecimiento se distinguen entre los adhesivos en frío (endurecimiento a temperatura ambiente, con relativo poco coste) y adhesivos en caliente (endurecimiento entre 100 y 200 °C).

Las construcciones para uniones con pegamentos se tienen que concebir de tal forma que solamente aparezcan fuerzas de tracción a la cortadura. Prácticamente sólo son apropiados para uniones de solapamiento. Hay que evitar uniones a tope solicitadas a tracción así como a la flexión.

Se pueden efectuar combinaciones de pegado con adhesivos para metales y soldadura por puntos. El adhesivo impide el arqueo prematuro de las chapas entre los puntos soldados por resistencias. Además se pueden reducir así las concentraciones de tensiones en los puntos de soldadura y el número de éstos. En construcciones solicitadas dinámicamente se aumenta la resistencia dinámica, la rigidez y el amortiguamiento. La soldadura se efectúa cuando el adhesivo todavía está en forma viscosa, porque en caso contrario el adhesivo hace de aislante.

Los adhesivos más importantes para metales son: resinas epoxi, de poliéster y acrílicas, el acetato de vinilo, la masilla metálica y otros.

Aplicaciones en la industria del automóvil

El procedimiento de unir con adhesivos tiene ya su lugar propio en la industria del automóvil. Los departamentos en que intervienen procedimientos de pegado son los siguientes:

- montaje en bruto: pegado de costuras de bordones y de refuerzos
- cadena de pintura: pegado de refuerzos
- línea de montaje: pegado de material de aislamiento, láminas decorativas, embellecedores, retrovisor en el parabrisas
- fabricación de piezas: pegado de zapatas de freno, pegado de lunetas de doble cristal de seguridad, uniones de goma/metal como montajes flotantes.

Remachado

El remachado es un procedimiento para obtener la unión inseparable de dos o más componentes del mismo o de diferentes materiales. Según sus aplicaciones y conformación se subdividen las uniones de remaches en:

- uniones fuertes (uniones de fuerza, p.ej. en la construcción de maquinaria en general, en la construcción de instalaciones),
- uniones fuertes y estancas (p.ej. construcción de calderas y de recipientes a presión),
- uniones extremadamente estancas (p.ej. instalaciones de tuberías, de vacío y otras).

Sin embargo, el remachado ha sido desplazado por la soldadura en la construcción de maquinaria en general y de recipientes. Según la temperatura a que se golpean los remaches, se distinguen entre remachado en frío y en caliente. En frío se usan remaches de hasta 10 mm de diámetro de acero, cobre, aleaciones de cobre, aluminio y similares. Los remaches de diámetro superior a los 10 mm se ponen en caliente.

Las formas más usuales de los remaches son semiredondos, de cabeza avellanada, de cabeza de gota de sebo y los remaches huecos y tubulares. Además hay algunos remaches normalizados como el remache explosivo y el remache ciego. Los remaches ciegos son remaches huecos accionados por mandriles o clavijas. Los materiales previstos para los diferentes tipos de remache se indican en hojas DIN. Las propiedades de resistencia y la composición química de los materiales para remaches están determinadas en DIN 17 111. Para la pieza y el remache se deberían usar materiales lo más iguales posible, cuando hay riesgo de destrucción por corrosión electroquímica.

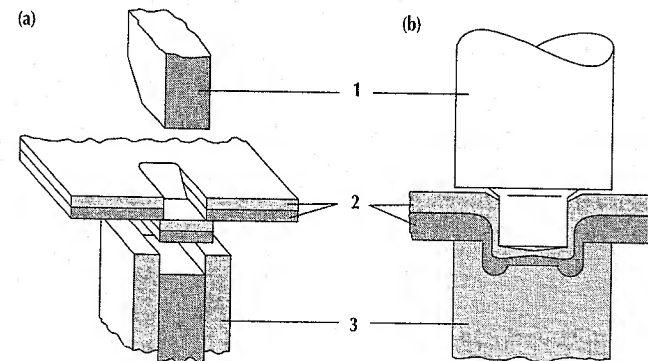
Ventajas/desventajas en comparación con otras técnicas de unión

- Ausencia de influencias sobre el material como temple o transformación de la estructura, tal como sucede en la soldadura,
- no hay deformación en las piezas
- se pueden unir materiales diferentes,
- las piezas se debilitan por el remachado,
- no se pueden remachar juntas a tope ,
- los remachados en talleres normalmente son más caros que las soldaduras.

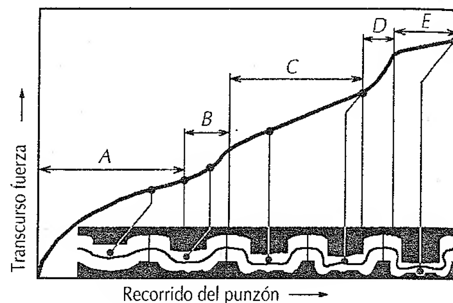
Aplicaciones en la industria del automóvil

- remachado de varillas articuladas (elevalunas, bastidores de limpiaparabrisas),
- remachado de chapas de refuerzo (solución de reparaciones).

Unión por presión
(a) Redoblado, (b) Embutición; 1 Punzón, 2 Piezas unir, 3 Matriz



Transcurso fuerza-recorrido del punzón
A Penetración y acoplamiento,
B Aplastado y ensanchado,
C Rellenado del contorno superior del grabado,
D Rellenado de la canal anular y
E Extrusión de retroceso de la copa



Técnicas por adherencia y por enclavado (unión por presión)

La unión por presión es un procedimiento de unión mecánico por el cual se efectúan en un solo proceso ininterrumpido de unión, el corte, la presentación y el aplastado sin influencia de calor. Su principio puede ser catalogado como unión por conformación. Se hace referencia a él por primera vez en la DIN 8593, parte 5, edición de septiembre de 1985.

En los últimos años se ha sumado la "unión por toxado" o el "toxado" como otro procedimiento de unión, el cual se parece a la unión por acoplamiento, pero no contiene el proceso de corte. Los útiles para el toxado tienen dimensiones relativamente pequeñas. Según sea la aplicación pueden fabricarse diámetros de diferentes tamaños. El toxado actualmente permite la unión de platinas de un espesor de hasta 3 mm. El espesor total de ambas platinas no debería superar los 5 mm. Se pueden unir materiales del mismo tipo (p.ej. acero/acero) así como también de diferente tipo (p.ej. acero/metal no ferroso). Además pueden unirse por presión chapas, piezas lacadas o pegadas. También se pueden unir a la vez (unión por presión múltiple) en un solo proceso (p.ej. un golpe de prensa) varios elementos de unión por presión (hasta 50). El transcurso típico de fuerza-recorrido del punzón se divide en la unión por toxado en cinco fases características (de A hasta E).

Ventajas/desventajas de la unión por presión

– no requiere un encapsulado de protección acústica
– en el toxado se mantiene la protección anticorrosión
– en la unión por presión con proceso de corte la protección anticorrosión se pierde en parte
– no hay distorsión por tensiones de calor
– posibilidad de la elaboración de chapas lacadas, conservadas (aceite, cera) y pegadas
– posibilidad de combinación de chapas de materiales diferentes (p.ej. acero/plástico)
– ahorro de energía al no precisarse ni red de soldadura ni sistema de refrigeración por agua
– un lado de la pieza tiene una protuberancia en forma de remache y el otro la depresión correspondiente.

Aplicaciones en la industria del automóvil

– soportes del marco de limpiaparabrisas
– fijación de la chapa interior de puertas
– posicionamiento de piezas individuales.

Remachado por estampación

En el remachado por estampación se produce la unión de las piezas en un proceso de corte y remachado con elementos de estampación y remachado (remache macizo o semihueco) sin perforado previo.

Remachado por estampación de remaches macizos

En el remachado por estampación de remaches macizos se coloca el lugar de unión sobre la matriz.

La parte superior de la unidad de remachado desciende y el punzón de remachado presiona al remache, en un proceso de estampación, a través de las dos piezas a unir.

Remachado por estampación de remaches semihuecos

En el remachado por estampación de remaches semihuecos se colocan las piezas a unir en la matriz (inferior). El punzón de remachado desciende y presiona, en un proceso de estampación, al remache semihueco a través de la chapa superior y hacia el interior de la chapa inferior. Conforma el pie del remache provocando simultáneamente su expansión y forma la cabeza de cierre. Generalmente la chapa inferior no es traspasada.

Dispositivos

Para la elaboración de la unión se emplean dispositivos de unión hidráulicos muy rígidos. La alimentación de los remaches de estampación puede ser suelta o por correa.

Materiales

El material del remache debe ser de mayor dureza que el material de las piezas a unir. Generalmente son de acero, acero fino, cobre y aluminio con lo más diferentes recubrimientos de superficie.

Características

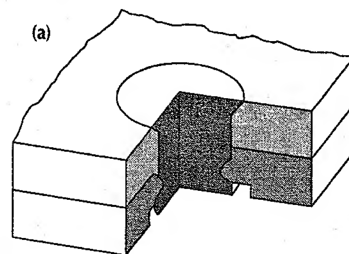
– unión de materiales iguales o distintos (p.ej. acero, plástico, aluminio), de piezas de espesores y resistencias diferentes y de chapas lacadas
– no precisan de perforado o taladrado previos ni de corriente ni de un dispositivo de aspiración
– espesor total del material remachable: acero 6,5 mm, aluminio 11mm.
– procedimiento de unión de emisiones reducidas de calor y ruido
– larga vida de los útiles de trabajo (aprox. 300000 remachados) y calidad de las uniones constante durante largo tiempo
– seguridad de proceso vigilando sus parámetros
– requiere grandes fuerzas
– el mayor alcance de las pinzas sólo es posible en casos determinados.

Aplicaciones

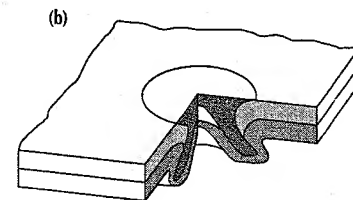
Remachado por estampación de remaches macizos: unión de chapas en el ramo del automóvil, p.ej. accionamiento de lunetas. Remachado por estampación de remaches semihuecos: uniones en la construcción de carrocerías de automóvil y de productos de línea blanca (electrodomésticos) así como también en componentes de metales y materiales compuestos (lunetas térmicas).

Uniones con remaches estampados
(a) *Remache macizo,* **(b)** *Remache semihueco*

(a)



(b)



Conformación de chapa

Embutición profunda

Magnitudes y unidades

Magnitudes		Unidades
D	Diámetro pieza en bruto	mm
d_B	Diámetro de la base del pisador	mm
d_1	Diámetro del punzón en la primera embutición	mm
d_2	Diámetro del punzón en la segunda embutición	mm
F	Fuerza total de embutición profunda	kN
F_B	Fuerza sujeción del pisador	kN
F_Z	Fuerza embutición profunda	kN
p	Presión del pisador	N/mm²
R_m	Resistencia a la tracción	N/mm²
s	Espesor chapa	mm
β_1, β_2	relación de embutición en cada caso	
β_{max}	Relación de embutición máxima posible	

Procedimiento de embutición

La embutición es una conformación de piezas en bruto planas, platinas o discos mediante un anillo embutidor, un macho y un pisador.

Los factores que influyen en la embutición profunda de piezas tridimensionales para carrocerías son extremadamente complejos y no se pueden calcular más que mediante cálculos aproximados. Hoy en día se ofrece, como procedimiento muy prometedor para el cálculo de procesos de embutición profunda con procesos numéricos de la mecánica continua mediante ordenadores de gran tamaño, el método de elementos finitos (FEM). En la fase de desarrollo del software deben considerarse las condiciones específicas del proceso de embutición profunda, como pueden ser la influencia del roce, del contacto bilateral, de los diferentes valores de los materiales según la dirección de laminado y otras parecidas. Las investigaciones necesarias para ello aún continúan.

Proceso de embutición profunda

En la embutición una platina plana se transforma en una pieza hueca. Un macho, alrededor del cual está situado un elemento de sujeción (en lenguaje técnico un pisador, pisón o sujetador) deja que la chapa se deslice hacia el interior de una matriz. El sujetador presiona con la fuerza previamente estudiada sobre la platina, evita la formación de arrugas (canalones) y en realidad posibilita la embutición.

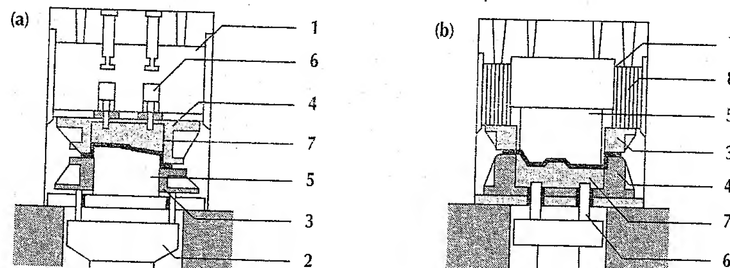
Diferentes factores influyen en la relación máxima de embutición:

- resistencia del material
- medidas del útil y espesor de chapa
- fuerza del pisador
- roce
- engrase
- material y superficie de la pieza

Embutición en prensas de simple efecto

Se llaman prensas de simple efecto las excéntricas en las que el punzón efectúa al único movimiento que se realiza.
Aplicaciones: para piezas planas con conformación sencilla como pueden ser piezas de terminales, cerquillos, soportes.

Embutición profunda
(a) Con prensa de simple efecto, (b) Con prensa de doble efecto; 1 Carro, 2 Cojín neumático, 3 Pisador, 4 Matriz de embutir, 5 Macho, 6 Bulón neumático, 7 Matriz intercalada, 8 Carro del pisador



Embutición en prensas de doble efecto

En prensas de doble efecto dos machos separados se encargan de la sujeción y embutición de la chapa. El accionamiento del carro se efectúa por excéntricas, palancas acodadas o hidráulicamente.

Aplicaciones: piezas de embutición profunda de conformación difícil como son guardabarros, cajas de ruedas, portones traseros.

Cálculo del proceso de embutición

$$F_Z = \pi \cdot (d_1 + s) \cdot s \cdot R_m$$

$$F_B = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_B^2) \cdot p$$

$$F = F_Z + F_B$$

$$\beta_1 = D/d_1;\ \beta_2 = d_1/d_2.$$

Ejemplo:
$D = 210$ mm; $d_B = 160$ mm; $d_1 = 140$ mm; $p = 2{,}5$ N/mm²; $R_m = 380$ N/mm²; $s = 1$ mm; $\beta_{max} = 1{,}9$.

Resultado:
Relación de embutición $\beta_1 = 1{,}5$; fuerza de embutición $F_Z = 36{,}3$ kN; fuerza del pisador $F_B = 36{,}3$ kN; fuerza total de embutición $F = 148{,}5$ kN.

El diagrama muestra los movimientos del macho y del pisador en un proceso. Ambos tienen diferentes carreras. El macho de embutición, con una carrera mayor, se adelanta; el del pisador, con una carrera menor, viene después, pero asienta antes.

Material	β_1 max.	β_2 max.	Presión p del pisador N/mm²
St 10	1,7	1,2	
St 12	1,8	1,2	2,5
St 13	1,9	1,25	
St 14	2,0	1,3	
Cobre	2,1	1,3	
CuZn 37 w	2,1	1,4	2,0...2,4
CuZn 37 h	1,9	1,2	
CuSn 6 w	1,5	–	
Al 99,5 w	2,1	1,6	
AlMg 1 w	1,85	1,3	1,2...1,5
AlCuMg 1 pl w	2,0	1,5	
AlCuMg 1 pl ka	1,8	1,3	

(1) Válido hasta $d_1/s = 300$; calculado para $d_1 = 100$ mm, $s = 1$ mm. Para otros espesores de chapa y diámetros de macho los valores varían ligeramente.

Fuerzas en el proceso de embutición

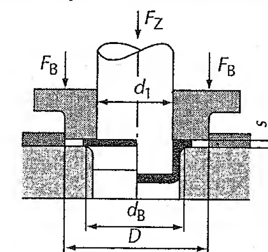
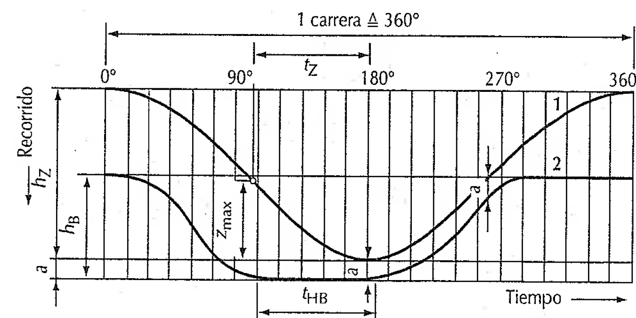


Diagrama tiempo-recorrido para una prensa de doble efecto
1 Curva del macho de embutición, 2 Curva del pisador; h_Z Carrera del macho de embutición, h_B Carrera del pisador, z_{max} Profundidad máxima de embutición, t_Z Duración del proceso de embutición, t_{HB} Tiempo de sujeción del pisador, a Adelanto de la carrera del macho de embutición



Técnica láser

La radiación láser coherente producida por un dispositivo láser es dirigida mediante un sistema reflector de espejos y concentrada en un punto de enfoque. En el punto focal el diámetro del rayo láser es de 0,3 a 0,5 mm. Así se pueden alcanzar intensidades de más de 10^6 a 10^8 W/cm^2. Si el enfoque tiene lugar en la superficie de la pieza, ésta se funde y evapora en unos milisegundos. En la mecanización de materiales se aprovecha este efecto del rayo láser. La clasificación del láser se efectúa, según el estado de agregación del medio activo, en láser de cuerpo sólido, de gas, de semiconductor y de líquido. En la industria metalúrgica se utilizan:

Rayos láser de cuerpo sólido (Nd:YAG)

El neodimio es un elemento del grupo de las tierras raras. YAG significa itrio-aluminio-granate ($Y_5Al_5O_{12}$). El cristal es tan estable térmicamente y mecánicamente como un rubí.

El láser Nd:YAG emite en el intervalo infrarrojo del espectro con una longitud de onda de 1,06 µm. La ventaja principal del láser Nd:YAG es que puede ser transmitido por fibra óptica. Así se evitan sistemas costosos de conducción de rayos. Rendimientos usuales actuales de rayos láser están alrededor de los 400 a 1200 W. Principalmente se trabaja en forma de impulsos. Los rayos láser de cuerpo sólido sirven principalmente para soldaduras de piezas con altos requerimientos de exactitud, p.ej. en matricería de precisión. Las profundidades de soldadura están – según sea la velocidad y el rendimiento de la soldadura – en el campo de las décimas de milímetro.

Láser de gas (CO_2)

El láser de CO_2 es el más importante de los láser de gas. Como medio activo sirve gas molecular. La longitud de onda de la radiación emitida se sitúa en el centro del infrarrojo y se reparte en un número de líneas espectrales entre 9,2 y 10,9 µm; el promedio está en 10,6 µm. Estos láser generalmente se trabajan en forma continua. Rendimientos usuales actuales de láser están alrededor de 2 a 5 kW. Ya existen instalaciones de laboratorio hasta de 20 kW.

Características del corte con láser

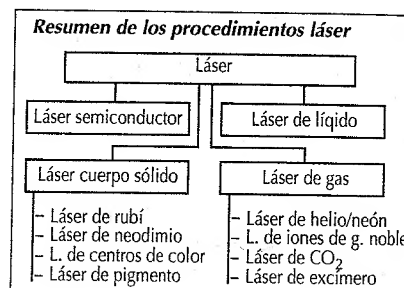
– cantos limpios sin rebabas,
– alta exactitud dimensional y de fabricación (no precisa de acabado),
– menor influencia térmica y mecánica sobre la pieza durante el proceso de corte,
– sujeción sencilla,
– se pueden cortar chapas de hasta 10 mm (1 kW), altas velocidades de corte (en chapas de 1 mm 10 m/min).

Características de la soldadura con láser

– relación alta de profundidad/ancho (p.ej. en profundidad de costura de 5 mm ancho de costura de 1 mm),
– reducida influencia térmica del material de base y relacionada con ello una zona de influencia térmica estrecha,
– poca deformación,
– soldadura bajo atmósfera de gas protector,
– separación casi nula entre las piezas acopladas,
– es posible soldar con material de aportación (para rellenar la ranura u obtener efectos metalúrgicos especiales en la costura de la soldadura),
– altos requerimientos en la sujeción y la instalación.

Aplicaciones en la construcción de máquinas y del automóvil

– Soldadura y corte de chapas en la fabricación de carrocerías,
– soldadura (unión) de chapas de distintos espesores,
– soldadura (unión) de piezas simétricas de revolución (piezas de engranajes, bielas o taqués, piezas del vehículo),
– taladrado y perforado,
– temple superficial, p.ej. temple de asientos de válvulas y otros,
– bonificado superficial, p.ej. transformación de la estructura en el campo de los cojinetes.



Tribología

Misión y metas

La tribología (la ciencia del rozamiento) se dedica a los procesos de rozamiento, desgaste y lubricación. Está destinada a dar indicaciones sobre el ahorro de recursos desde el punto de vista de las aplicaciones industriales y cumplir con ello los siguientes requisitos:

- análisis de procesos de rozamiento y de desgaste,
- análisis y evaluación de daños tribológicos,
- asesoramiento sobre construcción materiales y lubricantes (con medidas correctoras de fallos y concepción de piezas o productos nuevos),
- control de calidad,
- optimización de funciones,
- cálculo de la duración de vida y
- desarrollo y selección de nuevos materiales y lubricantes.

Este problema es complejo y exige una forma de pensar y de trabajar sinergéticas, donde en primer lugar se contemplan los conocimientos de los materiales, de la física, de la química y de la construcción de máquinas.

Definiciones

Roce (DIN 50 281)

El roce actúa como resistencia mecánica en el movimiento relativo de dos cuerpos en contacto. Como magnitudes físicas importantes de medición están:

Fuerza de rozamiento: fuerza de la resistencia que actúa en contra del movimiento.

Coeficiente de rozamiento: fuerza de rozamiento comparada con la fuerza normal.

Potencia del rozamiento: fuerza de rozamiento x velocidad de deslizamiento.

Clasificación del rozamiento:
1. según la forma de rozamiento (tipo de contacto),
2. según la forma del movimiento.

Forma de rozamiento (tipo de contacto):

Rozamiento de gas: una película de gas separa totalmente el cuerpo de base del cuerpo contrario y soporta toda la carga.

Rozamiento de líquido (hidrodinámico e hidrostático): una película líquida separa totalmente el cuerpo de base del cuerpo contrario y soporta toda la carga.

Rozamiento mixto: cuerpo de base y cuerpo contrario con contacto esporádico en puntas de rugosidad. La película de líquido o de lubricante así como también los elementos en contacto soportan la carga.

Rozamiento límite: el lubricante ya no tiene capacidad de soporte; pero los restos absorbidos de lubricante aún tienen efectos tribológicos.

Rozamiento de cuerpos sólidos: contacto directo del cuerpo de base con el cuerpo contrario.

Formas de movimiento:

Las formas de movimiento abarcan los rozamientos de deslizamiento, de rotación y de rodadura.

En muchos casos el rozamiento en componentes de máquinas es indeseado porque va unido a mayor consumo de energía y/o aumento de la temperatura o modificación del material resultante; pero a veces también es necesario para cumplir ciertas funciones como p.ej. en engranajes irreversibles, cuya grasa lubricante proporciona un coeficiente de rozamiento definidamente alto o en embragues que necesitan un estado de rozamiento definido.

Conceptos de la tribología (DIN 50 323)

La tribología es la ciencia y la técnica que estudia los efectos entre superficies bajo movimiento relativo. Se centra en los campos del rozamiento, del desgaste y de la lubricación e incluye efectos correspondientes de superficies límite, ya sea entre cuerpos sólidos o entre sólidos y gases.

Tribotécnica (DIN 50 323)

La tribotécnica se dedica a la aplicación técnica de los conocimientos tribológicos.

Solicitación tribológica (DIN 50 320)

Es la solicitación de un cuerpo sólido por el contacto y el movimiento relativo contra otro cuerpo sólido, gaseoso o líquido.

Daños tribológicos
Son daños causados por solicitaciones tribológicas. Contrariamente a la definición de desgaste o daño por desgaste según DIN 50 320, que siempre tiene como consecuencia la pérdida de material, la definición de "daños tribológicos" abarca muchos cambios de la superficie y perjuicios a la función causados tribológicamente, que no son desgaste según DIN 50 320.

Desgaste (DIN 50 320)

Es una pérdida progresiva de material en la superficie de un cuerpo sólido, producida por solicitación tribológica. El desgaste se manifiesta en forma de partículas sueltas del desgaste así como también en alteraciones del material y de la forma de la superficie solicitada tribológicamente. El desgaste es normalmente indeseado ya que desmejoran la funcionalidad; sin embargo, los procesos de ajuste o adaptación son una excepción. De esta forma los procesos que proporcionan un aumento de valor operacional del objeto no se consideran desgaste.

Sistema tribológico

El desgaste hay que considerarlo como característica de un sistema. No existe ninguna magnitud física propia para indicar la "resistencia al desgaste" de los materiales, como lo es p.ej. la resistencia a la tracción en el campo de las resistencias. El sistema tribológico de la zona de contacto que interesa, consta de

- los "elementos A" materiales: cuerpo de base, cuerpo contrario, material intermedio y medio circundante (v. figura),
- cualidades P de los elementos A y
- efectos recíprocos R entre los elementos A.

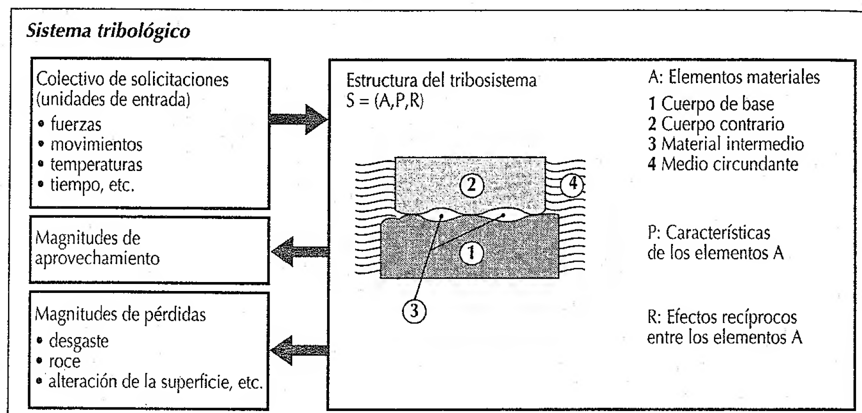
Las cualidades y los efectos recíprocos de los elementos forman la estructura del tribosistema. El conjunto de solicitaciones (fuerzas, movimientos, temperaturas) actúa sobre esta estructura, la cual transforma al colectivo en magnitudes de aprovechamiento. Magnitudes de pérdidas son el desgaste y el roce.

Dado que las solicitaciones tribológicas son de superficie, también las cualidades P antes mencionadas tienen que ser entendidas como cualidades de la superficie. Muy a menudo las cualidades de las superficies reales se desvían claramente de los valores de material obtenidos para el material de base. Los procesos de mecanizado y de limpieza y también el ambiente pueden causar diferentes capas límite y con ello características tribológicas diferentes del material.

Tipos de desgaste

Subdivisión de los procesos de desgaste según el tipo de solicitación y clase de los materiales que intervengan (estructura del sistema) (DIN 50 320):

Sistema tribológico



Estructura de sistema cuerpo sólido/cuerpo sólido
Deslizamiento → desgaste de deslizamiento
Rodadura → desgaste de rodadura
Oscilación → desgaste de oscilación

Estructura de sistema cuerpo sólido/líquido
Corriente/oscilación → erosión de cavitación

Aspecto del desgaste

Según DIN 50 320 el término de aspecto del desgaste (también llamado imagen de desgaste) abarca las alteraciones producidas por el desgaste en la superficie del material así como también el tipo y la forma de las partículas de desgaste que se producen.

Mecanismos del desgaste

Adhesión
Formación y separación de uniones (atómicas) por adhesión de superficies límite.

Se produce transferencia de material cuando la separación no transcurre exactamente a lo largo de la línea original limítrofe entre el cuerpo de base y el contrario.

La adhesión, que inicialmente transcurre en dimensiones atómicas, puede incrementarse hasta el fallo total por "gripado" (bloqueo por agarrotamiento).

Abrasión
Es la solicitación del rayado, o arranque de microvirutas, por el cuerpo de base o el cuerpo contrario o por productos de reacción o partículas sólidas del medio intermedio.

Fatiga de la superficie
Solicitación tribológica alternante (p.ej. solicitación de golpes, de rodadura, de deslizamiento y de cavitación) que produce tensiones mecánicas con formación de grietas que llevan a la rotura del material (separación de partículas de desgaste).

Reacción triboquímica
Solicitación tribológica que lleva a la reacción del cuerpo de base o del cuerpo contrario con el material intermedio (y el medio circundante).

Unidades de medida del desgaste

Las unidades de medida del desgaste designan directa o indirectamente las alteraciones por desgaste de la forma o de la masa de un cuerpo (se utilizan las designaciones de DIN 50 321).

Coeficiente de desgaste
Un valor característico para el desgaste que indica solamente una magnitud específica del sistema.
El coeficiente de desgaste k posibilita la comparación entre valores de desgaste en diferentes prensados de superficies o de diferentes velocidades de deslizamiento:

$k = W_v/(F \cdot s)$ en mm³/(N · m)

F fuerza
W_v valor volumétrico del desgaste
s recorrido de deslizamiento.

Análisis tribológico de daños

Si en componentes se detectan daños o alteraciones en el funcionamiento, que pueden afectar a la función, deben averiguarse, según DIN 50 320, todas las propiedades y solicitaciones que aparecen en el contacto tribológico con sus proporciones (DIN 50 320, anexo A).

El análisis topográfico y de materiales del contacto tribológico (cuerpo de base, cuerpo contrario, material intermedio) proporciona informaciones sobre los mecanismos habidos de daño y de desgaste (adhesión, abrasión, fatiga en la superficie, reacción triboquímica) o de sus proporciones y sobre las alteraciones del lubricante.

Para ello se precisan informaciones sobre:

- estructura de la superficie,
- composición material de la superficie,
- conformación de la estructura,
- microdureza,
- tensión propia,
- composición material o alteraciones químico-físicas del lubricante.

Métodos tribológicos de ensayo

DIN 50 322 divide los ensayos de desgaste en 6 categorías:

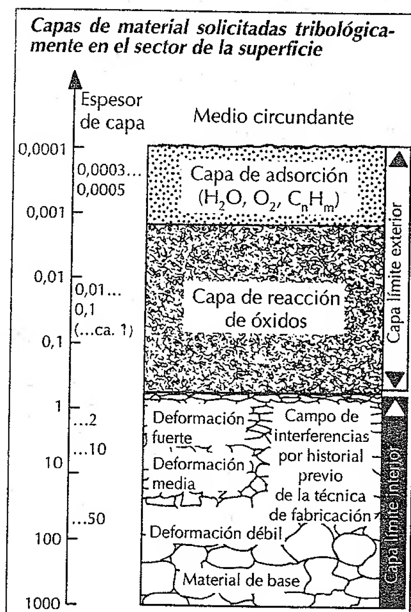
Categoría I: ensayo de funcionamiento.
Categoría II: ensayo de banco de pruebas con la máquina completa.
Categoría III: ensayo de banco de pruebas con el dispositivo o con el componente completo.
Categoría IV: ensayo con pieza sin modificaciones o dispositivo reducido.
Categoría V: ensayo con solicitaciones parecidas con cuerpos de prueba.
Categoría VI: ensayo en modelo con cuerpos sencillos de prueba.

En las categorías I a III se aplica el grupo en su estado original. A partir de la categoría IV se modifica claramente la estructura del sistema. En especial en productos importantes y sobresalientes para la seguridad es apropiado realizar los ensayos tribológicos dentro del marco de una cadena tribológica de comprobaciones:

- Comprobación en modelo (p.ej. clavija, bola o disco en desgaste de deslizamiento y de oscilación),
- Comprobación de la pieza y
- Comprobación del producto.

Los ensayos en modelo (con cuerpos de comprobación sencillos) se utilizan hoy en día principalmente para investigaciones básicas, pero por lo general ya no para la simulación de sistemas tribológicos complejos. En la cadena tribológica de ensayos, la comprobación del producto evidencia la mayor seguridad de información y representa la conclusión del desarrollo del producto. Con los procedimientos modernos de medición (p.ej. la técnica de medición por radionúclidos) se obtienen valores precisos sobre el desgaste como función del colectivo de solicitaciones.

En la técnica de medición por radionúclidos (RNT) se marcan radiactivamente las piezas a ser analizadas. Cualquier abrasión que se produzca detecta "on-line" mediante la radiación gamma.



Capas de material solicitadas tribológicamente en el sector de la superficie

Reducción del desgaste

El comportamiento tribológico se mejora mediante la construcción, el material y el lubricante.

Construcción

La construcción p.ej. dispone de las siguientes posibilidades:

- Mejora de la topografía de la superficie,
- reducción del prensado de superficie por incremento de la proporción portante,
- incremento de la resistencia de la superficie y
- mejora de las condiciones de lubricación.

Material

Posibilidades de técnicas de materiales son p.ej.:

- temple de capas límite,
- refundición de capas límite,
- aleación por refundición de la capa límite,
- procedimientos termoquímicos,
- procedimientos de recubrimientos galvánicos y químicos,
- soldadura de aportación,
- proyección térmica,
- plaqueado,
- recubrimientos PVD/CVD (deposición física/química de vapor, p.ej. TiN, TiC)
- técnicas de rayos iónicos (p.ej. implantación de iones, mezcla con rayos iónicos, mezcla de la capa límite y recubrimientos de protección con rayos iónicos).
- capas de carbono similares al diamante (con contenido metálico)
- lacas de deslizamiento
- capas de ajuste (los metales blandos evitan el prensado local alto de superficies).

El gran número de métodos de tratamientos y recubrimientos de superficies y de parámetros de proceso ajustables de forma óptima a los determinados tipos de desgaste forman un gran potencial para satisfacer por tribología los múltiples requerimientos de un producto.

Lubricante

La selección del lubricante como participante tribológico (pág. 224) o la concepción correcta de la composición de la lubricación permite en muchos casos influir mucho en el comportamiento tribológico (a veces mucho más de lo que puede conseguirse con un cambio de material) y forma la medida primaria para eliminar un comportamiento funcional insatisfactorio.

Capacidad de lubricación

La capacidad de lubricación es una magnitud de comparación para fluidos, la cual describe magnitudes de medición del desgaste comparables apropiadas para un sistema tribológico dado, que a su vez contiene al fluido como materia intermedia. Un fluido tiene una capacidad de lubricación mayor que otro fluido si produce un desgaste menor entre los participantes tribológicos o bien da a lugar a menor energía de rozamiento.

La capacidad de lubricación no debe confundirse con la viscosidad.

La descripción y cuantificación de la capacidad de lubricación se efectúa en la comprobación del producto, del componente o del desgaste en el modelo con parámetros determinados mediante magnitudes definidas de medición del desgaste.

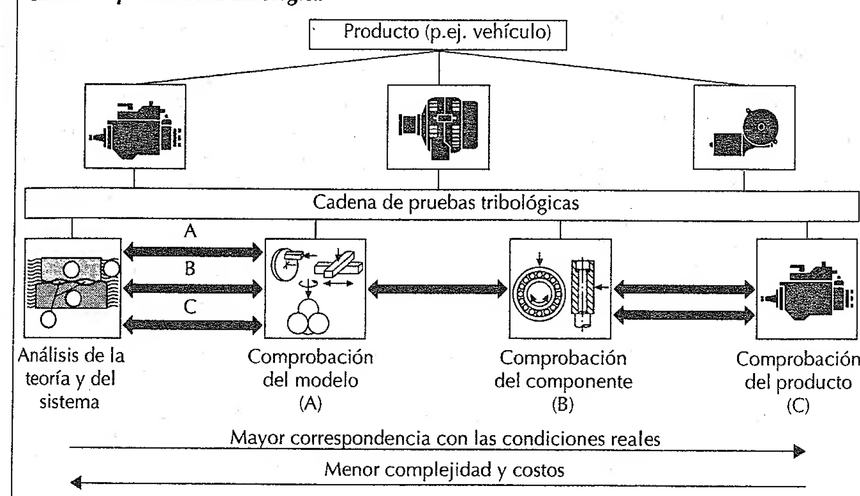
El valor que así se obtenga solamente es válido para ese tribosistema dado.

En muchos productos, tal como es el caso en sistemas hidráulicos o de inyección, el medio a ser transportado es el material intermedio del tribosistema.

Para conservar la capacidad funcional/vida útil, el fluido debe poseer una capacidad mínima de lubricación.

Mediante aditivos se puede mejorar la capacidad de lubricación.

Cadena de prueba de la tribológica



Requisitos de los vehículos de carretera

Capacidad de movimiento

Un vehículo debe poder ponerse en marcha partiendo del reposo, vencer subidas y cuando convenga acelerarse hasta la velocidad deseada. Esto significa, en el caso ideal, que en cada punto de trabajo del sistema de accionamiento, para una potencia *P* previamente escogida, el par *M* y el número de revoluciones *n* son variables que cumplen $P = M \cdot n$. El campo de trabajo está pues limitado por la potencia máxima P_{Nom}, la cual da pares cada vez mayores al disminuir la velocidad de marcha (la llamada hipérbola de fuerza de tracción como línea límite).

Densidad de potencia y densidad de acumulación

La densidad de potencia (W/kg), así como la densidad de acumulación (Wh/kg) de la totalidad del sistema motor/acumulador deben ser elevadas para mantener pequeños el tamaño del vehículo y con ello la masa del vehículo que hay que acelerar. Con densidades de potencia y de acumulación bajas, serían grandes el tamaño del vehículo y la masa a acelerar y con ello también la potencia necesaria y el consumo de energía, para conseguir la potencia (aceleración, velocidad) deseadas del automóvil.

Duración de la descarga o de la utilización del acumulador de energía

La duración de la utilización de un vehículo, y con ello su autonomía sin la recarga de su acumulador de energía, depende, además de la densidad de acumulación, de la potencia necesaria y con ello del peso por unidad de potencia de la máquina motriz.

Los gráficos muestran la relación entre las magnitudes críticas de densidad de potencia, densidad de acumulación y la duración de la utilización, así como las características del par motor de conocidos sistemas de accionamiento. De ello se deduce, que por un lado los motores de combustión son especialmente adecuados para su instalación en vehículos en lo que respecta a la potencia por espacio construido y la densidad de acumulación (tiempo de marcha con un llenado del tanque), y por otro lado, sin embargo, que la variación del par, sobre todo de los motores de pistones (Diesel y Otto), no es muy apropiada para accionar vehículos sin cambio de marchas. Por eso necesitan una caja de cambios que pueda soportar el par en el caso de disminuir el número de revoluciones (puesta en marcha), y también de variar dicho par (capacidad para subir montañas o de modificar la velocidad. También los motores eléctricos y los de vapor tienen limitado el par máximo por la intensidad máxima o la presión de vapor máxima, y precisan de un reductor.

Además de los requisitos principales mencionados existen, no obstante, otros que se aplican al sistema de accionamiento y al de acumulación de energía:

Economía con bajo consumo de combustible, bajos costes de fabricación y de mantenimiento y elevada duración.

Ambientación no contaminante con poca emisión de materias nocivas, baja emisión de ruidos, escaso consumo de material.

Comportamiento en servicio con buen comportamiento en la puesta en marcha, desde –30 °C hasta +50 °C, independencia del clima y la altura, buen comportamiento en marcha, aceleración y frenado.

Para vehículos automóviles se consideran en primer lugar los motores de combustión, en los que según sea la aplicación, los requisitos antes mencionados se ponderan distintamente, por ejemplo:

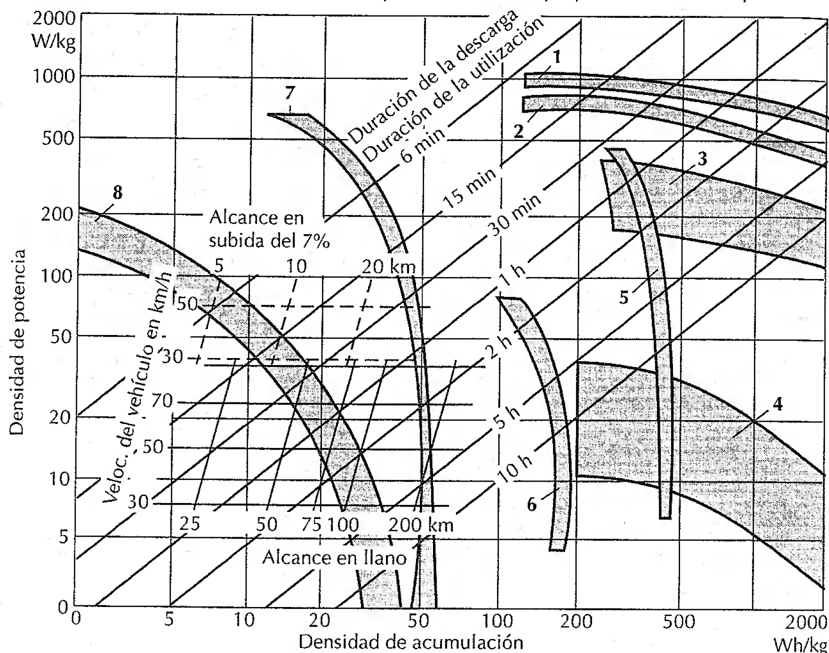
Turismos: Elevada densidad de potencia, poco ruido y costes de fabricación favorables.

Camiones y autobuses: Máxima economía y duración.

En casos o en condiciones de aplicación especiales existen tipos concretos de accionamiento tales como los puramente eléctricos o formas híbridas (Duo-Bus, etc.) prácticos y convenientes.

Densidad de potencia y densidad de acumulación de distintos conceptos de accionamiento (Motor y acumulador)[1]

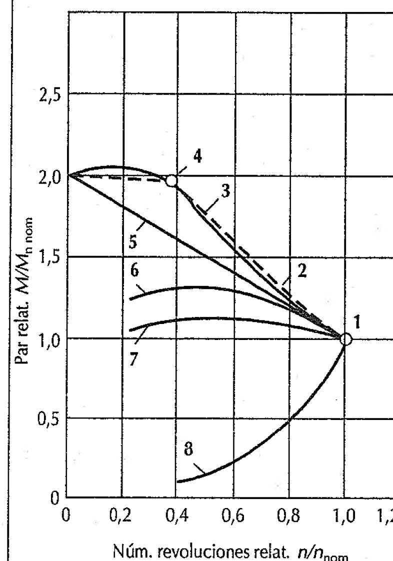
1 *Turbina de gas,* 2 *Motor de combustión,* 3 *Motor con combustión externa,* 4 *Motor eléctrico con 4 pilas de combustible,* 5 *Batería de litio y cloro,* 6 *Batería de cinc y aire,* 7 *Batería de níquel y cadmio,* 8 *Batería de plomo*



[1] Según "The Automobile and Air Pollution", US Dep. of Commerce (Informe Morse) Mahle, "Kolben-Handbuch"

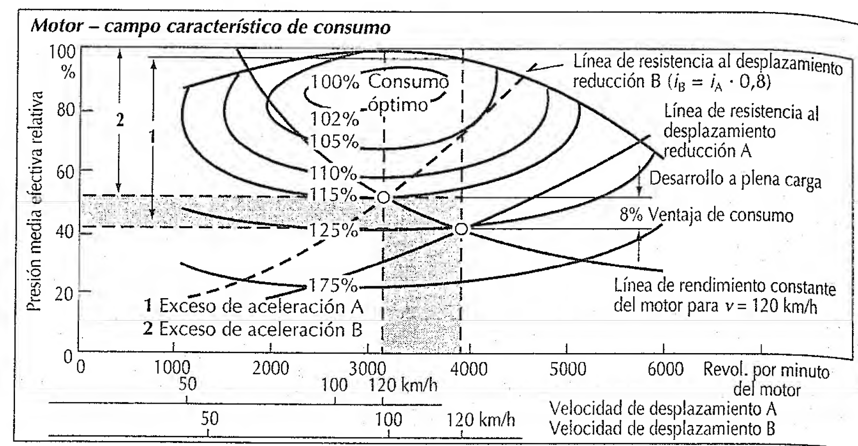
Par relativo para diversas máquinas motrices

1 *Punto de referencia: Turbinas de gas, motor de pistones* η_{max}; 2 *Motor de vapor;* 3 *Motor eléctrico;* 4 *Limitación de presión máxima o de la intensidad máxima;* 5 *Turbina de gas de dos ejes;* 6 *Motor Otto;* 7 *Motor Diesel;* 8 *Turbina de gas de un eje*



Requerimientos de los carburantes

Los carburantes o combustibles para los motores de combustión externa precisan menos requisitos porque en esos motores el gas de combustión y el gas de trabajo no son idénticos ni se ponen en contacto. En motores de combustión interna el carburante debe quemarse prácticamente sin dejar residuos y con suficiente velocidad.



Determinación del consumo de carburante

(según DIN 70 030)

Procedimiento para automóviles

El consumo de carburante hay que determinarlo según tres procedimientos: un ciclo de desplazamiento que simula la marcha en ciudad (págs. 497 y 498) y dos de velocidades constantes a 90 km/h y a 120 km/h.

El ciclo de desplazamiento simulado en ciudad se efectúa sobre el rodillo. Los consumos a velocidad constante pueden ser simulados sobre rodillo o medirse en carretera. El tramo de comprobación debe tener como mínimo una longitud de 2 km y la pendiente debe estar dentro de ± 2%.

En el ciclo de desplazamiento el vehículo debe tener el peso prescrito para la comprobación de los gases de escape. En los desplazamientos a velocidad constante la carga debe ser la mitad de la carga útil, pero ser como mínimo de 180 kg.

Consumo de carburante

Por norma el consumo de carburante C se indica en litros por cada 100 km.

En medición gravimétrica:

$$C = \frac{m}{\rho_r \cdot s} \cdot 100 \quad \text{l/100 km}$$

m peso del carburante consumido

ρ_r densidad del carburante en kg/l en condiciones de aprovisionamiento

s distancia recorrida en km.

En medición volumétrica:

$$C = \frac{V(1 + \alpha(20° - t_k))}{s} \cdot 100 \quad \text{l/100 km}$$

V volumen de carburante consumido en l

α coeficiente de dilatación del carburante (≈ 0,001/°C),

t_k temperatura del carburante en °C.

Procedimiento para vehículos en general

(excepto automóviles y máquinas tractoras)

El consumo de carburante se mide en los dos sentidos sobre recorridos planos (pendiente ± 1,5%) de aprox. 10 km de longitud. El trecho debe ser recorrido de forma lo más posible constante a 3/4 de la velocidad máxima. El límite de velocidad máxima para motocicletas es de 110 km/h. Para otros vehículos la velocidad máxima se rige según la StVZO (Código de homologación de circulación).

El vehículo debe estar cargado con la mitad de la carga útil y las motocicletas con una persona de aprox. 65 kg de peso.

Consumo de carburante

Por norma el consumo de carburante C se indica en litros por cada 100 km.

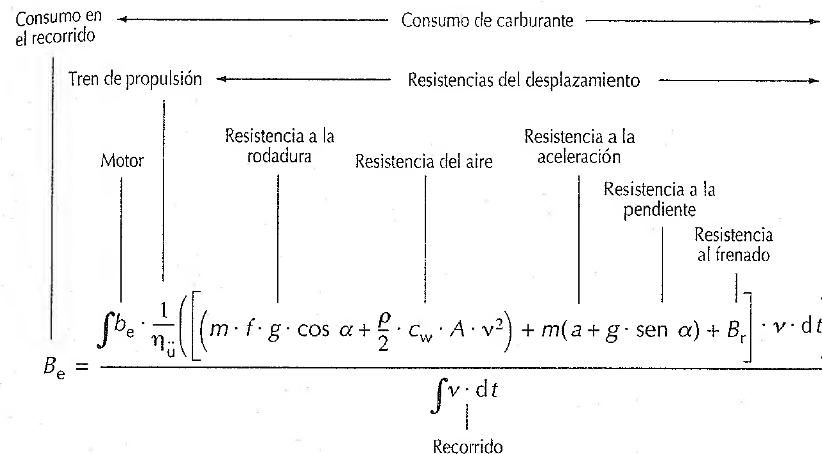
$$C = 1{,}1 \cdot \frac{V}{s} \cdot 100 \quad \text{l/100}$$

V volumen de carburante consumido en l,

s distancia recorrida en km,

1,1 factor de seguridad para considerar circunstancias desfavorables en el tráfico normal en carretera.

Influencia en el consumo de carburante mediante medidas en el vehículo



$$B_e = \frac{\int b_e \cdot \frac{1}{\eta_{ü}} \left(\left[\left(m \cdot f \cdot g \cdot \cos\alpha + \frac{\rho}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 \right) + m(a + g \cdot \text{sen}\,\alpha) + B_r \right] \cdot v \cdot dt \right)}{\int v \cdot dt}$$

Magnitud		Unidad
B_e	Consumo en el recorrido	g/m
$n_{ü}$	Rendimiento de transmisión del tren propulsor	–
m	Masa del vehículo	kg
f	Coeficiente de resistencia a la rodadura	–
g	Aceleración de la gravedad	m/s²
α	Ángulo de pendiente	°
ρ	Densidad del aire	kg/m³
c_W	Coeficiente de resistencia al aire	–
A	Superficie frontal	m²
v	Velocidad de desplazamiento	m/s
a	Aceleración	m/s²
B_r	Resistencia al frenado	N
t	Tiempo	s
b_e	Consumo específico de carburante	g/kWh

Según la fórmula del consumo se distingue entre tres grupos de magnitudes de influencia:

- motor,
- caja de cambios y
- resistencias externas al desplazamiento.

Caja de cambios

La influencia de la caja de cambios se fundamenta por una parte en las pérdidas en la transmisión (que hay que mantenerlas reducidas), y por otra en las reducciones escogidas, según las cuales se determina el punto de marcha en el campo característico de consumo del motor. Las relaciones más "largas" normalmente desplazan los puntos de marcha a valores más favorables en el campo característico (ver figura), pero reducen la capacidad de aceleración.

Resistencias externas al desplazamiento

Las resistencias externas al desplazamiento pueden disminuirse por reducción del peso, la mejora de la aerodinámica y reducción de la resistencia a la rodadura.

En un vehículo promedio de serie unas reducciones del 10% de l peso, de la resistencia del aire y de la resistencia a la rodadura llevan a una mejora en el consumo de carburante de aprox. el 6%, 3% y 2%, respectivamente

En la fórmula citada se diferencia entre resistencia a la aceleración y al frenado, con lo cual se pone de manifiesto que los procesos de aceleración incrementan el consumo sobre todo si a continuación para reducir la velocidad se usa al freno. En caso contrario se aprovecha la energía cinética del vehículo para la propulsión (desacelaración = aceleración negativa) y se reduce en parte el consumo.

Dinámica del automóvil

Dinámica longitudinal del automóvil

Magnitud		Unidad
A	Sección máx. transv. del automóvil[1]	m^2
a	Aceleración, desaceleración	m/s^2
c_w	Coeficiente resistencia del aire	–
F	Fuerza motriz	N
F_{ct}	Fuerza centrífuga	N
F_L	Resistencia del aire	N
F_{Ro}	Resistencia a rodadura	N
F_{st}	Resistencia a subida	N
F_w	Resistencia a marcha	N
f	Coeficiente resist. a rodadura	–
G	Fuerza del peso = $m \cdot g$	N
G_B	Suma de las fuerzas de las ruedas accionadas o frenadas	N
g	Aceleración gravedad = 9,81 $m/s^2 \approx$ 10 m/s^2	m/s^2
i	Rel. transmisión entre motor y ruedas motrices	–

Magnitud		Unidad
M	Par motor	N · m
m	Masa vehículo (peso)	kg
n	Núm. revoluciones motor	min^{-1}
P	Potencia	W
P_w	Potencia de marcha	W
p	Pendiente, rampa (= 100 tan α)	%
r	Radio ruedas motrices (radio dinám. neumático)	m
s	Trayecto, distancia recorr.	m
t	Tiempo	s
v	Velocidad marcha	m/s
v_0	Velocidad viento en contra	m/s
W	Trabajo	J
α	Áng. pendiente ascend. o descend.	°
μ_r	Coeficiente adherencia	–

Los demás símbolos y unidades en el texto

Resistencia total a la marcha

La resistencia a la marcha se calcula por

$$F_W = F_{Ro} + F_L + F_{St}$$

Potencia de la resistencia a la marcha

La potencia de accionamiento que hay que consumir en las ruedas motrices para vencer las resistencias a la marcha es:

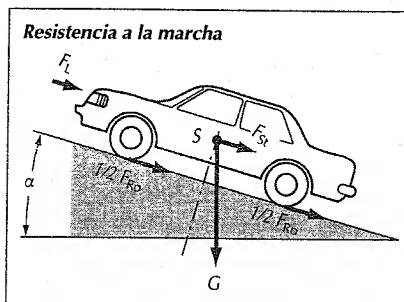
$$P_W = F_W \cdot v$$

o bien

$$P_W = \frac{F_W \cdot v}{3600}$$

con P_W en kW; F_W en N y v en km/h.

[1] En turismos $A \approx 0{,}9 \times$ Ancho de vía $\times$ Altura.



Resistencia a la marcha

Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura F_{Ro} surge del trabajo de deformación de la rueda y del estado del firme

$$F_{Ro} = f \cdot G = f \cdot m \cdot g$$

Para el cálculo aproximado de la resistencia a la rodadura se pueden utilizar los coeficientes de resistencia a la rodadura de la tabla.

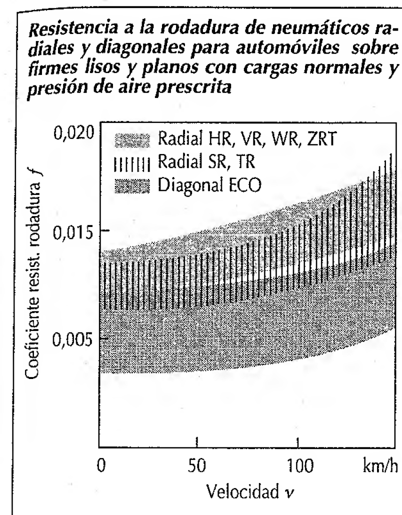
El coeficiente de resistencia a la rodadura f es tanto mayor cuanto menor es el radio de la rueda y mayor la deformación que sufre. Aumenta pues con la carga, la velocidad y la menor presión de aire en los neumáticos.

Al tomar una curva aumenta la resistencia a la rodadura por la resistencia en curva

$$F_K = f_K \cdot G$$

El coeficiente f_K de resistencia en curva depende de la velocidad de marcha, del radio de la curva, de la cinemática del eje, de los neumáticos, de la presión de hinchado de los mismos y del coeficiente de rozamiento lateral.

Firme		Coefic. resistencia a rodadura f
Turismos	Neumáticos sobre	
	adoquinado grande	0,015
	adoquinado pequeño	0,015
	hormigón, asfalto	0,013
	áridos apisonados	0,02
	macadam. de alquitr.	0,025
	camino de tierra	0,05
	suelo arado	0,1...0,35
Vehículos ind.	Neumáticos sobre hormigón, asfalto	0,006...0,01
Ruedas todo terr.	sobre suelo arado	0,14...0,24
Tractor oruga	sobre suelo arado	0,07...0,12
Rueda	sobre carriles	0,001...0,002



Resistencia a la rodadura de neumáticos radiales y diagonales para automóviles sobre firmes lisos y planos con cargas normales y presión de aire prescrita

Resistencia del aire

La resistencia del aire se calcula por:

$$F_L = 0{,}5 \cdot \rho \cdot c_W \cdot A\,(v + v_0)^2$$

Con v en km/h:

$$F_L = 0{,}0386 \cdot \rho \cdot c_W \cdot A \cdot (v + v_0)^2$$

Densidad del aire ρ

(a 200 m de altura ρ = 1,202 kg/m³), coeficientes de resistencia del aire c_W en páginas 47 y 331.

Potencia de la resistencia del aire

$$P_L = F_L \cdot v = 0{,}5 \cdot \rho \cdot c_W \cdot A \cdot v \cdot (v + v_0)^2$$

o bien

$$P_L = 12{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot c_W \cdot A \cdot v \cdot (v + v_0)^2$$

con P_L en kW, F_L en N, v y v_0 en km/h, A en m^2 y ρ = 1,202 kg/m³.

Determinación de los coeficientes de resistencia del aire y de rodadura por ensayos

Arrancar el vehículo con viento en calma y en punto muerto en una carretera llana. Determinar las desaceleraciones medias a_1 y a_2 a gran velocidad v_1 y a pequeña velocidad v_2, respectivamente. El proceso de cálculo y un ejemplo pueden verse en la tabla de abajo.

El ejemplo numérico es válido para un vehículo con un peso m = 1450 kg y una sección A = 2,5 m².

Este método es aplicable para velocidades de marcha inferiores a 100 km/h.

	1er ensayo (gran velocidad)	2° ensayo (pequeña velocidad)
Velocidad inicial Velocidad final Tiempo entre v_a y v_b	v_{a1} = 60 km/h v_{b1} = 55 km/h t_1 = 6,5 s	v_{a2} = 15 km/h v_{b2} = 10 km/h t_2 = 10,5 s
Velocidad media	$v_1 = \frac{v_{a1} + v_{b1}}{2} = 57{,}5$ km/h	$v_2 = \frac{v_{a2} + v_{b2}}{2} = 12{,}5$ km/h
Desaceleración media	$a_1 = \frac{v_{a1} - v_{b1}}{t_1} = 0{,}77 \frac{km/h}{s}$	$a_2 = \frac{v_{a2} - v_{b2}}{t_2} = 0{,}48 \frac{km/h}{s}$
Coef. resistencia aire	$c_w = \frac{6m \cdot (a_1 - a_2)}{A \cdot (v_1^2 - v_2^2)} = 0{,}36$	
Coef. resistencia rodadura	$f = \frac{28{,}2(a_2 \cdot v_1^2 - a_1 \cdot v_2^2)}{10^3 \cdot (v_1^2 - v_2^2)} = 0{,}013$	

Coeficientes de resistencia al aire y potencias de resistencia al aire de diferentes vehículos

	Coefic. resist. aire c_w	Potencia resist. aire en kW, valores medios para $A = 2m^2$ y dif. velocidades(1)			
		40 km/h	80 km/h	120 km/h	160 km/h
Cabriolet abierto	0,5...0,7	1	7,9	27	63
Familiar	0,5...0,6	0,91	7,2	24	58
Tres volúmenes	0,4...0,55	0,78	6,3	21	50
En forma de cuña, faros y parachoques integrados en el cuerpo, ruedas cubiertas, revestimiento del fondo, circulación óptima del aire de refrigeración	0,3...0,4	0,58	4,6	16	37
Faros y todas las ruedas en el cuerpo: fondo revestido	0,2...0,25	0,37	3,0	10	24
Forma K (pequeña sección de penetración)	0,23	0,38	3,0	10	24
Forma favorable para cortar el viento	0,15...0,20	0,29	2,3	7,8	18
Camiones	0,8...1,5	–	–	–	–
Motos	0,6...0,7	–	–	–	–
Autobuses	0,6...0,7	–	–	–	–
Autobuses c. lín. aerodinám.	0,3...0,4	–	–	–	–

(1) Sin viento en contra ($v_0 = 0$)

Resistencia en la subida, potencia inducida cuesta abajo

La resistencia en la subida (F_{st} con signo positivo) o la potencia inducida cuesta abajo (F_{st} con signo negativo) se calcula por:

$$F_{St} = G \cdot \text{sen}\ \alpha = m \cdot g \cdot \text{sen}\ \alpha$$

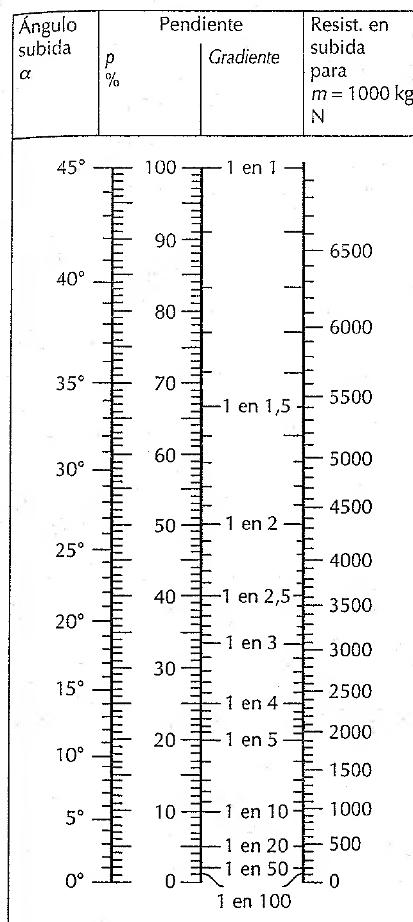
o aproximadamente

$$F_{St} \approx 0{,}01 \cdot m \cdot g \cdot p$$

que se cumple hasta aproximadamente $p = 20\,\%$ de pendiente (error inferior al 2 %). La potencia de subida se obtiene de:

$$P_{St} = F_{St} \cdot v$$

Ángulo subida α	Pendiente p %	Pendiente *Gradiente*	Resist. en subida para $m = 1000$ kg N



Con P_{St} en kW, F_{St} en N y v en km/h:

$$P_{St} = \frac{F_{St} \cdot v}{3600} = \frac{m \cdot g \cdot v \cdot \text{sen}\ \alpha}{3600}$$

o, aproximadamente

$$P_{St} \approx \frac{m \cdot g \cdot p \cdot v}{360\ 000}$$

La pendiente es:

$p = (h/l) \cdot 100\%$ o bien

$p = (\tan \alpha) \cdot 100\%$

donde h es la altura del tramo l. En los países angloamericanos se calcula con el *gradiente*.
La conversión es

Gradiente = 1 en p/100 %.

Ejemplo: 1 en 2, que se dice "uno en dos".

Potencia para $m = 1000$ kg					
Resist. en pendiente F_{st} N	Potencia de subida P_{st} en kW a diferentes velocidades				
	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h	60 km/h
6500	36	54	72	–	–
6000	33	50	67	–	–
5500	31	46	61	–	–
5000	28	42	56	69	–
4500	25	37	50	62	–
4000	22	33	44	56	67
3500	19	29	39	49	58
3000	17	25	33	42	50
2500	14	21	28	35	42
2000	11	17	22	28	33
1500	8,3	12	17	21	25
1000	5,6	8,3	11	14	17
500	2,3	4,2	5,6	6,9	8,3
0	0	0	0	0	0

Ejemplo: Para superar una subida de $p = 18\%$, un vehículo de unos 1500 kg de peso necesita una fuerza motriz de aprox. $1{,}5 \cdot 1700\ \text{N} = 2550$ N y a velocidad $v = 40$ km/h, una potencia de subida de $1{,}5 \cdot 19\ \text{kW} = 28{,}5$ kW.

Fuerza motriz

La fuerza motriz F disponible en las ruedas motrices es tanto mayor cuanto mayores sean el par de giro M del motor y la relación total de transmisión i entre el motor y las ruedas motrices, y menores las pérdidas en la transmisión:

$$F = \frac{M \cdot i}{r} \cdot \eta \quad \text{o bien} \quad F = \frac{P \cdot \eta}{v}$$

η rendimiento de la transmisión de fuerza.
(Para un motor montado longitudinalmente $\eta \approx 0{,}88$ a $0{,}92$.)
(Para un motor montado transversalmente $\eta \approx 0{,}91$ a $0{,}95$.)

La fuerza motriz F se precisa en parte para vencer las resistencias a la marcha F_W. Esas resistencias, que aumentan considerablemente en las subidas, se compensan de forma escalonada mediante mayores relaciones de transmisión (cambio de marcha).

Velocidad y número de revoluciones del motor

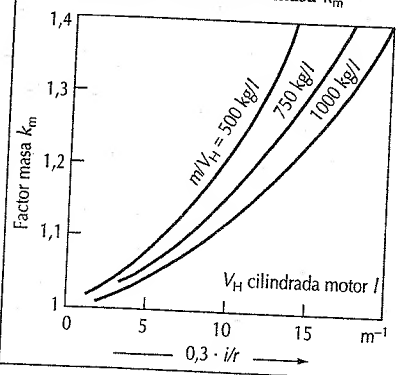
$$n = \frac{60 \cdot v \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

o con v en km/h:

$$n = \frac{1000 \cdot v \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot r}$$

Aceleración

El excedente de fuerza $F - F_W$ acelera al vehículo (o lo desacelera cuando F_W es mayor que F).



Determinación del factor de masa k_m

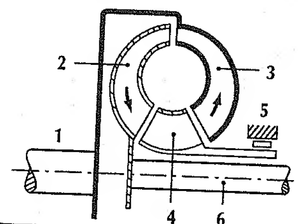
$$a = \frac{F - F_W}{k_m \cdot m} \quad \text{o bien} \quad a = \frac{P \cdot \eta - P_W}{v \cdot k_m \cdot m}$$

siendo k_m un factor de masa que incorpora el incremento aparente de masa del vehículo causado por las masas en movimiento giratorio (ruedas, volante de inercia, cigüeñal, etc.).

Fuerza motriz y velocidad en vehículos con cambio automático

Para los cambios automáticos, con convertidor o embrague hidrodinámicos, en la fórmula de la fuerza motriz en vez del par motor M hay que poner el par de giro de la turbina y en la fórmula para el número de revoluciones del motor las revoluciones de la turbina.

La determinación de la dependencia $M_{Turb} = f(n_{Turb})$, obtenida de la curva característica del motor $M_{Mot} = f(n_{Mot})$, se obtiene de las curvas características del convertidor hidrodinámico (véase pág. 651).



Convertidor hidrodinámico
1 Eje de entrada, 2 Turbina, 3 Bomba, 4 Rodete, 5 Rueda libre, 6 Eje de salida

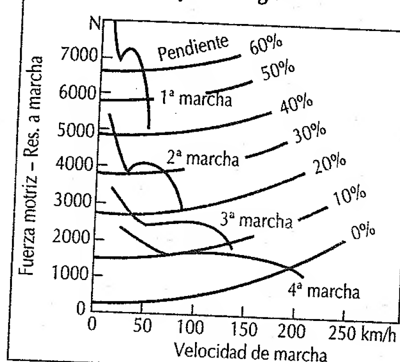


Diagrama de marcha de un turismo con cambio automático y convertidor de par hidrodinámico Trilok, a plena carga

Adherencia al suelo

Coeficientes de adherencia de neumáticos a firmes de carretera

Velocidad de marcha km/h	Estado de los neumáticos	Estado de la carretera: Seca	Mojada alt. agua aprox. 0,2 mm	Lluvia fuerte alt. agua aprox. 1 mm	Encharcada alt. agua aprox. 2 mm	Helada
		Coeficiente de adherencia μ_r				
50	nuevos	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 y menos
	gastados(1)	1	0,5	0,4	0,25	
90	nuevos	0,8	0,6	0,3	0,05	
	gastados(1)	0,95	0,2	0,1	0,05	
130	nuevos	0,75	0,55	0,2	0	
	gastados(1)	0,9	0,2	0,1	0	

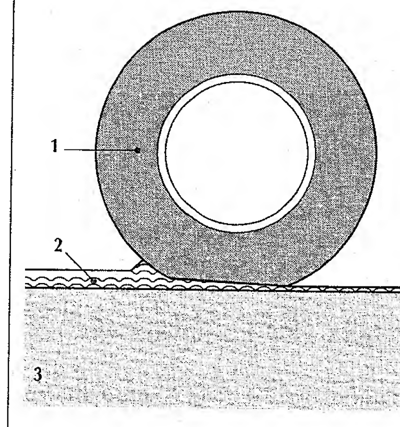
(1) Gastados hasta 1 mm de altura de perfil (valores mínimos según § 36.2 St VZO, Reglamento Autorización circulación de Alemania, pág. 856).

El coeficiente de adherencia ("coeficiente de arrastre de fuerza") depende de la velocidad de marcha, del estado de los neumáticos y del estado de la calzada (véase la tabla de arriba). Los valores son válidos para firmes de hormigón y macadam de alquitrán en buen estado. Los coeficientes de rozamiento (a rueda bloqueada) son en general menores que los coeficientes de adherencia.

Los valores máximos de aceleración y capacidad de ascenso, o bien de desaceleraciones y frenado en pendientes, se encuentran en la página 337.

Aquaplaning (deslizamiento sobre agua)

El aquaplaning influye considerablemente en la adherencia. Se entiende por aquaplaning la situación en que un neumático flota sobre la película de agua de una calzada mojada porque se introduce una cuña de agua debajo de toda la superficie de sustentación y levanta al neumático del suelo. El aquaplaning depende de la altura del agua en la calzada, de la velocidad del vehículo, del perfil y estado de desgaste del neumático, y de la carga que comprime al neumático contra el suelo. En estado de aquaplaning el vehículo no puede conducirse ni frenarse, puesto que sus ruedas delanteras ya no tocan el suelo ni la fuerza de los frenos ni los movimientos del volante se pueden transmitir al firme.



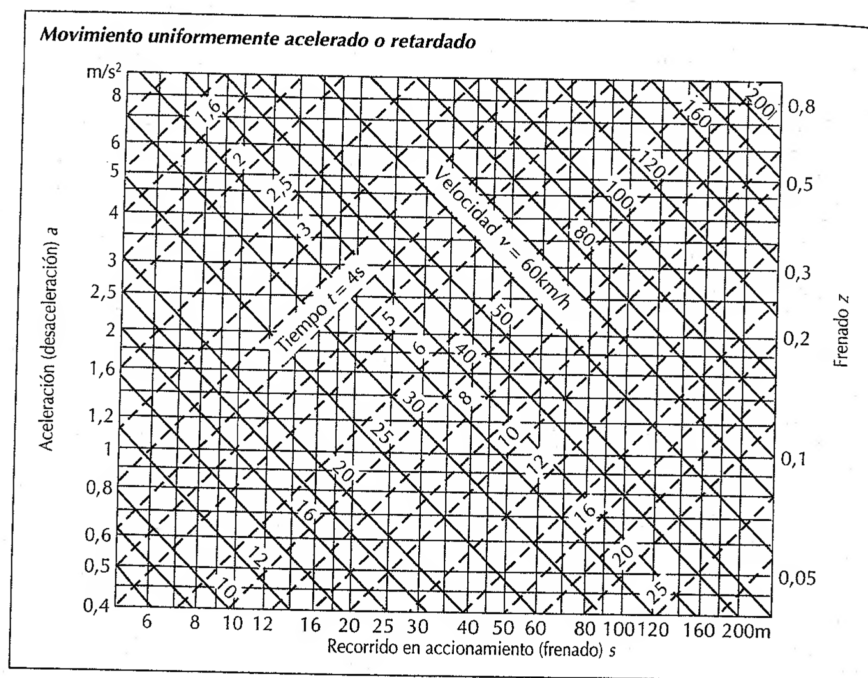
Aquaplaning
1 Neumático, 2 Cuña de agua, 3 Suelo

Accionamiento y frenado

Existe movimiento uniformemente acelerado o retardado, cuando "a" es constante. La velocidad inicial o final es nula: $v = 0$.

	Ecuaciones de v en m/s	Ecuaciones de v en km/h
Aceleración o desaceleración en m/s²	$a = \frac{v^2}{2 \cdot s} = \frac{v}{t} = \frac{2 \cdot s}{t^2}$	$a = \frac{v^2}{26 \cdot s} = \frac{v}{3,6 \cdot t} = \frac{2 \cdot s}{t^2}$
Tiempo de accionamiento o frenado, en s	$t = \frac{v}{a} = \frac{2 \cdot s}{v} = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}}$	$t = \frac{v}{3,6 \cdot a} = \frac{7,2 \cdot s}{v} = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}}$
Espacio recorrido en accionamiento o frenado[1] en m	$s = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{a \cdot t^2}{2}$	$s = \frac{v^2}{26 \cdot a} = \frac{v \cdot t}{7,2} = \frac{a \cdot t^2}{2}$

Recorrido hasta la detención, página 338.
Símbolos y unidades, página 13.



Cada punto del diagrama relaciona entre sí las magnitudes v, a o z[2], s y t. Conocidas dos magnitudes se obtienen las demás.
Dados: Velocidad de marcha v = 30 km/h y recorrido de frenado s = 13,5 m, se obtiene: desaceleración media a = 2,5 m/s², frenado z = 0,25, tiempo de frenado t = 3,3 s.

[1] Cuando la velocidad final v_2 no es 0, el recorrido de frenado es: $s = v_1 \cdot t - a \cdot t^2/2$, expresada v_1 en m/s.
[2] Desaceleración referida a la aceleración de la gravedad.

Valores máximos de la aceleración y desaceleración

Cuando sobre las ruedas de un vehículo actúan fuerzas de empuje o de frenado de tales magnitudes que las ruedas justo se adhieran a la calzada (fuerza máxima de arrastre), entonces entre el ángulo de la pendiente α, el coeficiente de adherencia μ_r[1] y la aceleración o desaceleración máximas posibles se tienen las relaciones que se citan a continuación. Los valores prácticos alcanzables son inferiores porque en ninguna aceleración (o desaceleración) todas las ruedas utilizan a la vez la fuerza de arrastre máxima posible. Los sistemas de accionamiento y de frenado regulados electrónicamente (ASR, ABS)[2] regulan en la zona del coeficiente de adherencia.

k = relación de la carga de las ruedas accionadas o frenadas con respecto al peso total. Para todas las ruedas accionadas o frenadas, $k = 1$; en las ruedas accionadas descansa la mitad del peso total que hay que accionar: $k = 0,5$.

Ejemplo:

$k = 0,5$; $g = 10$ m/s²;
$\mu_r = 0,6$; $p = 15\%$;
$a_{max} = 0,5 \cdot 10 \cdot (0,6 \pm 0,15)$

frenado cuesta arriba (+): $a_{max} = 3,75$ m/s²
frenado cuesta abajo (–): $a_{max} = 2,25$ m/s².

Trabajo y potencia

En un movimiento uniformemente acelerado (o retardado), la potencia requerida para ello varía con la velocidad de marcha. La potencia de aceleración disponible es:

$$P_a = P \cdot \eta - P_W$$

siendo P la potencia del motor, η el coeficiente de rendimiento y P_W la potencia de la resistencia a la marcha.

Aceleración y desaceleración

	Carretera plana	Carretera en pendiente $\alpha°$; $p = 100 \cdot \tan \alpha\%$	
Aceler. o desacel. lím α_{max} en m/s²	$\alpha_{max} \leq k \cdot g \cdot \eta_r$	$\alpha_{max} \leq k \cdot g\,(\mu_r \cos \alpha \pm \text{sen } \alpha)$ aproximada[3] $\alpha_{max} \leq k \cdot g\,(\mu_r \pm 0,01 \cdot p)$	+ para frenado cuesta arriba o acelerac. cuesta abajo – para aceleración cuesta arriba o frenado cuesta abajo

Aceleración alcanzable a_e (P_a en kW, v en km/h, m en kg)

Carretera plana	Carretera en pendiente	
$a_e = \frac{3600 \cdot P_a}{k_m \cdot m \cdot v}$	$a_e = \frac{3600 \cdot P_a}{k_m \cdot m \cdot v} \pm g \cdot \text{sen } \alpha$	+ aceleración cuesta abajo – aceleración cuesta arriba para $g \cdot$ sen α se cumple aprox.[3], $g \cdot p/100$

Trabajo y potencia

	Carretera plana	Carretera en pendiente $\alpha°$; $p = 100 \tan \alpha\%$	
Trab. accionam. o frenado W en J[4]	$w = m \cdot a \cdot s = \frac{m \cdot v^2}{2}$	$W = m \cdot s\,(k_m \cdot a \pm g \cdot \text{sen } \alpha)$ aproximado[3] $W = m \cdot s\,(k_m \cdot a \pm g \cdot p/100)$	+ para frenado cuesta abajo o acelerado cuesta arriba – para acelerado cuesta abajo o frenado cuesta arriba v en m/s. Para v en km/h hay que poner v/3,6.
Pot. accionam. o frenado a velocidad v, en W	$P_a = m \cdot a \cdot v$	$P_a = m \cdot v\,(k_m \cdot a \pm g \cdot \text{sen } a)$ aproximado[3] $P_a = m \cdot v\,(k_m \cdot a \pm g \cdot p/100)$	

[1] Valores en pág. 335.
[2] ABS = Sistema anti-bloqueo, páginas 627, 659. ASR = Regulación del resbalamiento en el accionamiento, pág. 574.
[3] Válido hasta aprox. p = 20% (error inferior al 2%).
[4] J = N · m = W · s. Conversiones, pág. 14.

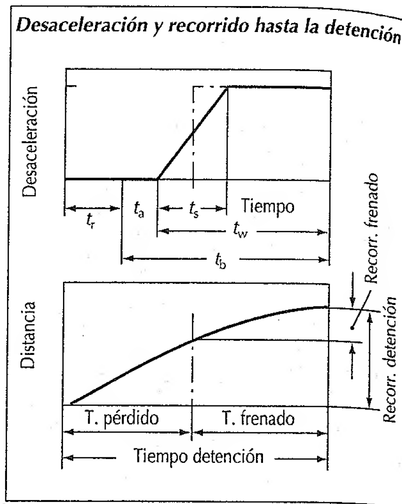
Recorrido hasta la detención

El trayecto que se recorre desde la percepción de un obstáculo hasta la parada del vehículo se compone del recorrido durante el tiempo de reacción t_r, del correspondiente a la duración del frenado t_a a velocidad constante v y del recorrido durante el tiempo t_W de acción de los frenos. La desaceleración total se obtiene en el tiempo límite de frenado t_s, que puede considerarse igual a la mitad en tiempo límite. La suma de los tiempos en que hay desaceleración constituye el tiempo perdido t_{vz}

$$t_{vz} = t_a + t_r + t_s/2$$

La desaceleración está limitada por arriba por el coeficiente de adherencia entre neumáticos y calzada (pág. 335), y por abajo por el valor mínimo legal (pág. 616).

El tiempo de detención y el recorrido hasta la misma se diferencian del tiempo de frenado o del recorrido de frenado por t_{vz} o $v \cdot t_{vz}$. En la página 615, el tiempo de accionamiento del freno comprende los tiempos $t_a + t_s/2$.

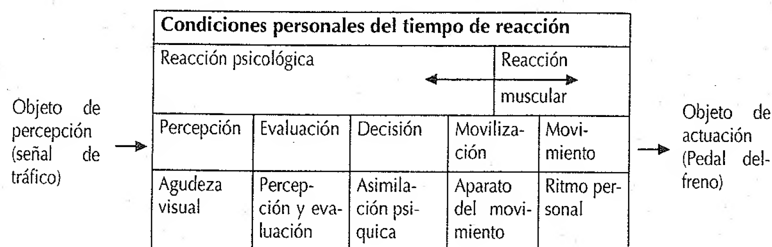


Período de reacción

El periodo de reacción es el intervalo comprendido entre la percepción del obstáculo, la toma de decisión y el movimiento del pie hasta su colocación en el pedal del freno. Este tiempo no es constante: varía según las condiciones personales y circunstancias exteriores entre 0,3 y 1,7 s (página 339).

La determinación del comportamiento de reacción individual precisa de investigaciones especiales (necesarias para la obtención y renovación de permisos de conducir).

	Ecuaciones de v en m/s	Ecuaciones de v en km/h
Tiempo de detención t_h en s	$t_h = t_{vz} + \frac{v}{a}$	$t_h = t_{vz} + \frac{v}{3{,}6 \cdot a}$
Recorrido de detención s_h en m	$s_h = v \cdot t_{vz} + \frac{v^2}{2 \cdot a}$	$s_h = \frac{v}{3{,}6} t_{vz} + \frac{v^2}{26 \cdot a}$



Dependencia del tiempo de reacción de los factores personales y exteriores

	Acortamiento hasta 0,3 s ←	→ **Alargamiento** hasta 1,7 s
A) Factores personales	Acto reflejo ensayado	Acto discrecional
	Buena disposición; capacidad de potencia óptima	Mala disposición, p. ej., fatiga
	Elevadas dotes p. conducción	Escasas dotes para conducir
	Juventud	Edad avanzada
	Impaciencia de espera	Falta de atención, distracción
	Salud física y mental	Trastornos funcionales
		Miedo, alcohol
B) Factores exteriores Situación del tráfico	Fácil, visible, previsible, conocida	Complicada, imprevisible, incalculable, anormal
Tipo del objeto a percibir	Significativo, llamativo	Inconciso, extraño
Lugar del objeto a percibir	En el campo visual	En el límite del campo visual
Tipo del objeto a accionar	Disposición favorable del mecanismo	Disposición inadecuada del mecanismo

Tiempo de reacción del freno y de duración umbral del frenado

El dispositivo de accionamiento y transmisión, así como los frenos y su estado en el momento (por ejemplo, discos de freno mojados), determinan el tiempo de reacción del freno t_a y la duración umbral del frenado t_s. Los valores legales admisibles para t_a y t_s para frenos bien graduados se pueden ver en ECE R 13. Al comprobar la efectividad de las instalaciones de frenos la ecuación del recorrido de frenado prescribe[1] para $t_a + t_s/2$ valores de 0,36 s (clasificación M_1 del vehículo) y 0,54 s (clasificación M2, M_3 y N_1 a N_3). El mal estado de la instalación de frenos, alarga el tiempo de reacción y el de duración umbral. En la tabla que sigue puede verse el aumento de recorrido hasta la detención que supone una pérdida de tiempo de 1 s.

[1] Directiva del Consejo de la Comunidad Europea 71/320/CEE.

Desaceleración a en m/s²	Velocidad de marcha antes de frenar en km/h												
	10	30	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
	Recorrido durante la pérdida de tiempo de 1 s (que no frena) en m												
	2,8	8,3	14	17	19	22	25	28	33	39	44	50	56
	Recorrido hasta la detención en m												
4,4	3,7	16	36	48	62	78	96	115	160	210	270	335	405
8	3,5	15	33	44	57	71	87	105	145	190	240	300	365
5,8	3,4	14	30	40	52	65	79	94	130	170	215	265	320
7	3,3	13	28	36	46	57	70	83	110	145	185	230	275
8	3,3	13	26	34	43	53	64	76	105	135	170	205	250
9	3,2	12	25	32	40	50	60	71	95	125	155	190	225

Adelantamiento

Magnitud		Unidad
a	Aceleración	m/s²
l_1, l_2	Longitud del vehículo	m
s_1, s_2	Distancia de seguridad	m
s_H	Trayecto relativo del que adelanta	m
s_L	Tray. recorr. por adelantado	m
s_u	Trayecto de adelantamiento	m
t_u	Tiempo de adelantamiento	s
v_L	Velocidad del vehículo más lento	km/h
v_H	Velocidad del vehículo más rápido	km/h

El proceso de adelantamiento se compone de cambio de dirección hacia afuera, paso por el lado del otro vehículo y cambio de dirección hacia adentro. Puede variar bajo las más diversas escalas y condiciones que son difíciles de calcular. Para la resolución analítica y gráfica, se consideran sólo los dos casos límites siguientes: adelantamiento a velocidad constante y adelantamiento a aceleración constante.

Para la representación gráfica resulta conveniente descomponer el trayecto de adelantamiento s_u en dos partes y prescindir del recorrido necesario para ponerse al lado del otro vehículo.

Trayecto de adelantamiento

$$s_u = s_H + s_L$$

s_H es el trayecto a recorrer por el vehículo más rápido con respecto al más lento —el cual no se desvía de su trayectoria—, compuesto por las longitudes l_1 y l_2 de los vehículos, y las distancias de seguridad s_1 y s_1.

$$s_H = s_1 + s_1 + l_1 + l_2$$

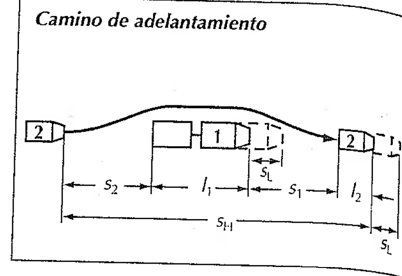
Durante el tiempo de adelantamiento t_u el vehículo más lento recorre el trayecto s_L, que también tendrá que hacerlo el vehículo más rápido para mantener constante la distancia de seguridad.

$$s_L = t_u \cdot v_L/3{,}6$$

Distancia de seguridad

Debe corresponder como mínimo al trayecto recorrido durante el tiempo perdido t_{vz}, (página 338). Para un tiempo perdido

Camino de adelantamiento



de t_{vz} = 1,08 s, con las velocidades en km/h, sería (0,3 · v) metros. No obstante, fuera de las poblaciones se recomienda como mínimo 0,5 · v.

Adelantamiento a velocidad constante

En carreteras con más de dos carriles, el vehículo que adelanta suele ya llevar la velocidad necesaria cuando comienza el adelantamiento. El tiempo de adelantamiento (desde la salida hasta la vuelta al carril) es pues

$$t_u = \frac{3{,}6 \cdot s_H}{v_H - v_L}$$

El trayecto de adelantamiento es

$$s_u = \frac{t_u \cdot v_H}{3{,}6} = \frac{s_H \cdot v_H}{v_H - v_L}$$

expresado t en s, s en m y v en km/h

Adelantamiento a aceleración constante

En carreteras estrechas casi siempre primero hay que reducir la velocidad hasta la velocidad del vehículo que marcha por delante y luego volver a acelerar cuando se pueda realizar el adelantamiento. Las aceleraciones alcanzables dependen de la potencia del motor, del peso del vehículo, de la velocidad y de la resistencia a la marcha (página 337). Son del orden de 0,4 a 0,8 m/s² y a marchas lentas hasta 1,4 m/s² con lo cual la maniobra de adelantamiento se acorta ventajosamente. Básicamente todo adelantamiento debería estar terminado dentro de la mitad del trayecto que se ve libre.

Bajo la hipótesis de que se mantiene una aceleración constante durante toda la ma-

niobra de adelantamiento, el tiempo de adelantamiento es

$$t_u = \sqrt{2 \cdot s_H/a}$$

En este tiempo, el vehículo más lento habrá recorrido el trayecto $s_L = t_u \cdot v_L/3{,}6$, de lo que resulta que el trayecto de adelantamiento es:

$$s_u = s_H + t_u \cdot v_L/3{,}6$$

con t en s, s en m y v en km/h

En el diagrama figuran en la parte izquierda los trayectos relativos s_H para diversas diferencias de velocidad $v_H - v_L$, o aceleraciones a y en el lado derecho el trayecto s_L del vehículo más lento, adelantado, para distintas velocidades v_L. El trayecto de adelantamiento s_H es siempre la suma de s_H y s_L.

Primero se calcula el trayecto s_H del vehículo que adelanta y se entra con él en la parte izquierda del diagrama, en la ordenada correspondiente y se baja a la línea ($v_H - v_L$) o la curva de aceleración. Entonces se prolonga la línea hacia la derecha hasta cortar la línea de velocidad v_L.

Ejemplo (línea de trazos y puntos):

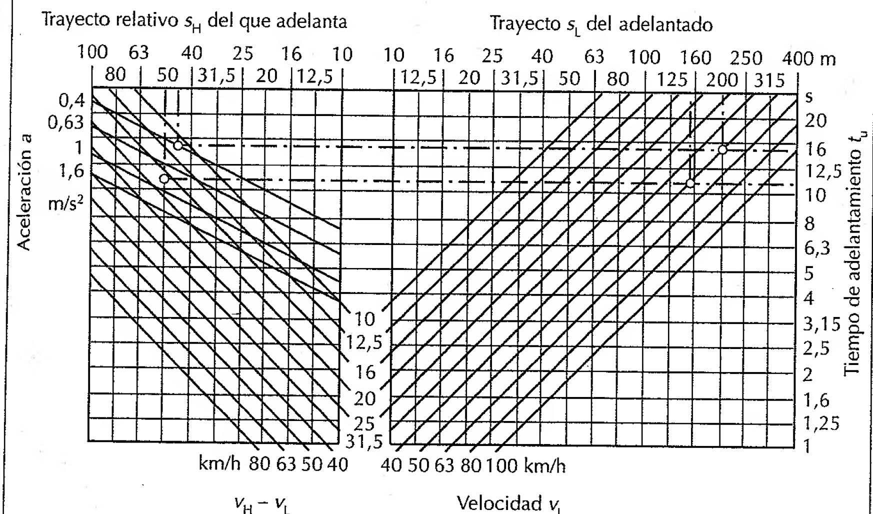
$v_L = v_H = 50$ km/h
$a = 0{,}4$ m/s²
$l_1 = 10$ m, $l_2 = 5$ m
$s_1 = s_2 = 0{,}3 \cdot v_L = 0{,}3\ v_H = 15$ m

Solución: Punto de corte de $a = 0{,}4$ m/s² con s_H = 15 m + 15 + 10 + 5 = 45 m, que hay que dibujar en la parte izquierda del diagrama.
Lectura: t_u = 15 s, s_L = 210m
De donde: $s_u = s_H + s_L$ = 255m.

Campo de visión

Para poder adelantar sin peligro, en carreteras estrechas, el campo de visión tiene que ser por lo menos igual a la suma del trayecto de adelantamiento y del trayecto que puede recorrer un vehículo que venga en sentido contrario, durante el tiempo del adelantamiento. Para velocidades de 90 km/h de los vehículos contrarios, y de 60 km/h para el vehículo adelantado el campo de visión debe ser de unos 400 m.

Determinación gráfica del trayecto de adelantamiento



Dinámica transversal del automóvil

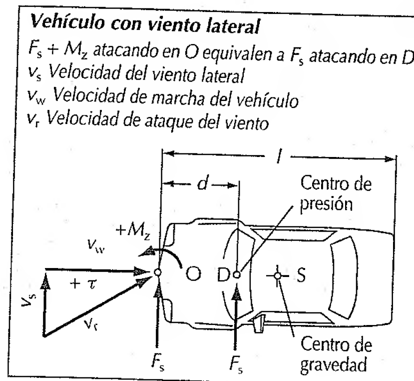
Comportamiento en marcha con viento lateral

A causa del ataque de un fuerte viento lateral y especialmente circulando a elevadas velocidades, el vehículo se desvía de su trayectoria. En el caso de un golpe repentino de viento lateral, como puede suceder al salir de un desfiladero, y especialmente dentro del periodo de reacción (página 338), en vehículos mal proyectados se originan importantes desplazamientos laterales y variaciones de la dirección. Es por ello necesario, que ya en la construcción se tengan en cuenta las consideraciones correspondientes.

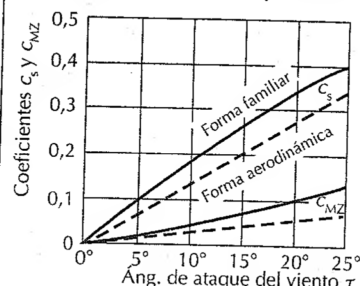
Con un viento oblicuo respecto al vehículo, además de la resistencia del aire, aparece también la componente transversal de la fuerza del aire. Esta fuerza, que actúa en toda la carrocería, se puede considerar reducida a una sola fuerza, a la del viento lateral, que ataca en un punto denominado centro de presión. La posición del centro de presión depende de la forma de la carrocería y del ángulo de ataque del viento. Por lo general está situado en la mitad anterior del coche, en vehículos tipo familiar (parte trasera recta) queda más cerca del centro del coche que en las carrocerías de perfil continuo en descenso (carrocería aerodinámica) en las cuales y en casos extremos pueden llegar a quedar por delante del eje delantero. Las formas de tipo familiar tienen un centro de presión bastante más fijo que las carrocerías aerodinámicas, porque en éstas el centro de presión depende más del ángulo de ataque del viento y sufre por tanto mayor dispersión. En los coches de tipo familiar (a igualdad de condiciones) es mayor la fuerza lateral.

Para conseguir una representación general de la influencia del viento lateral, el centro de presión resulta pues inadecuado como punto de referencia, ya que no es un lugar fijo del vehículo. Igualmente el centro de gravedad depende de las condiciones de carga del vehículo y tampoco es fijo. Resulta conveniente tomar como punto de referencia un punto centrado en el plano medio del vehículo en el extremo delantero de la carrocería, de forma que los datos sean también independientes del mecanismo de traslación respecto a la carrocería.

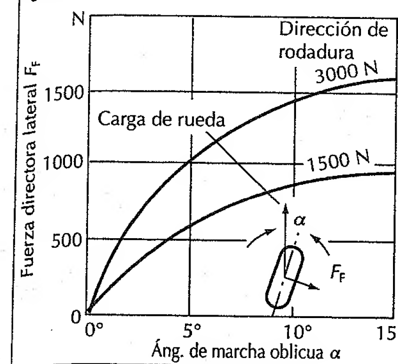
Al indicarse la fuerza del viento lateral para un punto de referencia distinto del centro de presión hay que tener en cuenta el momento de la fuerza del viento lateral respecto al centro de presión (par de fuerzas). En la aerodinámica es frecuente utilizar en lugar de fuerzas y momentos, coeficientes adimensionales, que son independientes de la velocidad del viento incidente. En el diagrama se representan las curvas de los valores de los coeficientes de la fuerza lateral del viento y del momento de desviación de la dirección para vehículos tipo familiar y aerodinámicos. Es evidente que por la multiplicidad de formas de las carrocerías sólo se trata de valores orientativos; para el comportamiento exacto de una carrocería determinada es necesario en cada caso una medición en túnel aerodinámico.



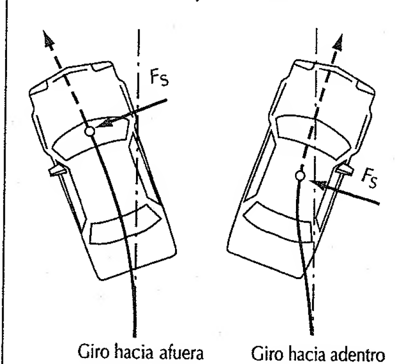
Vehículo con viento lateral
$F_s + M_z$ atacando en O equivalen a F_s atacando en D
v_s Velocidad del viento lateral
v_w Velocidad de marcha del vehículo
v_r Velocidad de ataque del viento



Coeficientes de la fuerza del viento lateral C_s y coeficiente del momento de desviación C_{MZ} en función del ángulo de ataque del viento



Fuerza directora lateral en función del ángulo de marcha oblicua



Ataque del viento en el centro de gravedad, desvío hacia afuera y hacia adentro

De los coeficientes, se obtienen las fuerzas y los momentos según las siguientes ecuaciones:

Fuerza lateral del viento

$F_s = c_s \cdot \rho \cdot (v_r^2/2) \cdot A_s$

Momento de desviación

$M_Z = C_{MZ} \cdot \rho \cdot (v_r^2/2) \cdot A_s \cdot l$

ρ densidad del aire, v_r velocidad relativa (resultante) del viento incidente, A_s superficie lateral proyectada del vehículo, l longitud total del vehículo (en unidades coherentes), c_s coeficiente de fuerza lateral del viento, c_{MZ} coeficiente del momento de desviación por viento lateral.

La distancia del centro de presión al morro del vehículo se obtiene de la ecuación:

$d = M_Z/F_s = l \cdot c_{MZ}/c_s$

La fuerza lateral del viento es soportada por las ruedas por medio de fuerzas directoras laterales. La fuerza directora lateral de un neumático depende además del ángulo de marcha oblicua y de la carga de la rueda, del tipo y tamaño del neumático, de la presión de aire y de las propiedades de agarre del firme.

Por las propiedades específicas de los neumáticos, al elevar la carga de las ruedas y mantenerse constante el ángulo de marcha oblicua, la fuerza directora lateral no aumenta en la misma proporción que la carga en las ruedas. En el ejemplo (diagrama), al duplicarse la carga sobre la rueda, la fuerza directora lateral sólo aumenta 1,5 a 1,7 veces. Para conseguir que se duplique la fuerza directora lateral, debe aumentarse también el ángulo de marcha oblicua. En razón a esto los ejes más cargados, a igualdad de relación entre fuerza lateral y fuerza vertical que soportan, deben tomar un ángulo mayor de marcha oblicua que los ejes menos cargados (con menor fuerza vertical).

Si el viento lateral ataca en el centro de gravedad, se reparten las fuerzas directrices laterales necesarias entre los ejes delantero y trasero, en proporción a las cargas de las ruedas, es decir, aparecen en ambos ejes las mismas relaciones de fuerza vertical a la fuerza lateral. Si el centro de gravedad está más cerca del eje delantero, la fuerza lateral del viento, a causa del mayor ángulo de marcha oblicua necesario en ese eje, desvía "hacia afuera", y en el caso de que el centro de gravedad esté hacia atrás, entonces actúa desviando "hacia adentro".

El centro de gravedad del vehículo se desplaza pues siempre inicialmente hacia el lado opuesto de donde viene el viento, con respecto a la trayectoria primitiva. Al cesar la fuerza lateral del viento el vehículo girado hacia afuera se aleja más de la trayectoria primitiva; el girado hacia adentro invierte el movimiento del centro de gravedad, se acerca a la trayectoria primitiva y la rebasa.

Ahora bien, por lo general el punto de ataque de la fuerza lateral del viento, es decir, el centro de presión, no coincide con el centro de gravedad, sino que según la forma de la carrocería, queda más o me-

nos alejado del centro del coche. Por lo tanto, el vehículo que con fuerza del viento aplicada teóricamente en el centro de gravedad se desvía hacia dentro, en la práctica, con viento real, se desvía igualmente hacia afuera.

A causa de la posición más adelantada del centro de presión en los vehículos de forma aerodinámica, con viento lateral tienen más tendencia a desviarse hacia afuera y es más difícil dominarlos que los de tipo familiar.

Existe naturalmente la posibilidad de trasladar el centro de presión hacia atrás hasta las proximidades del centro de gravedad por medio de la colocación de aletas estabilizadoras verticales en la parte trasera. En la práctica sin embargo hasta ahora, no se ha aplicado esta posibilidad más que en coches de carreras y construcciones especiales.

Para influir favorablemente en la estabilidad del vehículo con viento lateral se desea que el centro de presión esté cerca del centro de gravedad. Las desviaciones mínimas de la trayectoria se logran en un vehículo sobrevirado cuando el centro de presión está delante del centro de gravedad. En un vehículo subvirado la posición más favorable del centro de presión es un poco por detrás del centro de gravedad.

Puesto que la fuerza lateral del viento por lo general es más pequeña que la fuerza vertical en las ruedas (fuerza de contacto con el firme), y que la no linealidad de la relación de fuerza vertical a la fuerza lateral cuando esta última es pequeña, influye poco, pues resulta que las propiedades de los neumáticos por sí solas no determinan el comportamiento de un vehículo frente al viento lateral. Desempeñan también una función importante la elasticidad en las suspensiones de ruedas y en la dirección. Influyen también mucho a este respecto las medidas que considere el fabricante del chasis.

Sobrevirado y subvirado

Las fuerzas laterales de conducción sólo pueden generarse entre el firme y la rueda recubierta por el neumático de goma, cuando la rueda gira en un plano que aún no contiene la dirección de la marcha, es decir, cuando forma un ángulo de marcha oblicua.

Se define que un vehículo está subvirado cuando en el mismo, al aumentar la aceleración transversal, el ángulo de marcha oblicua aumenta mucho más en el eje delantero que en el trasero. El comportamiento inverso se llama sobrevirado.

No es necesariamente preciso que un vehículo tenga el mismo comportamiento de autodirección en toda la gama posible de aceleraciones transversales. Además de los vehículos, que siempre están subvirados, están los que con pequeñas aceleraciones transversales están subvirados y en cambio con aceleraciones transversales elevadas cambian a sobrevirados y viceversa.

Bibliografía

Barth, R.: Windkanalmessungen an Fahrzeugmodellen und rechteckigen Körpern mit verschiedenem Seitenverhältnis bei unsymmetrischer Anströmung. Dissertation, TH Stuttgart 1958. Barth, K.: Luftkräfte am Kraftfahrzeug. Deutsche Kraftfahrzeugforschung und Strassenverkehrstechnik, Heft 184, Düsseldorf. VDI-Verlag 1966.

Mitschke, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer-Verlag 1972.

Comportamiento en las curvas

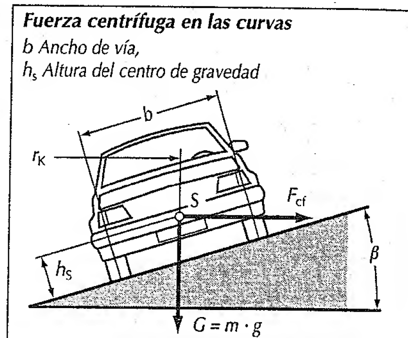
Fuerza centrífuga en las curvas

$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{r_K} \quad \text{(pág 45)}$$

o bien, con v en km/h y r_k radio de la curva en metros,

$$F_{cf} = \frac{m \cdot v^2}{12{,}96 \cdot r_K}$$

Fuerza centrífuga en las curvas
b Ancho de vía,
h_s Altura del centro de gravedad



Velocidad límite

El ejemplo numérico de la tabla que sigue es para un coche de ancho de vía de 1,5 m, altura del centro de gravedad h_S = 0,6 m; el coeficiente de arrastre de fuerza μ_r = 0,8 máx.; radio de la curva r_k = 90 m y peralte en la curva β = 20°.

	Curva sin peralte	Curba con peralte
Velocidad a la cual se sobrepasa la capacidad de agarre del vehículo y derrapa	$v \leq 11{,}28\sqrt{\mu_r \cdot r_K}$ km/h	$v \leq 11{,}28\sqrt{\frac{(\mu_r + \tan\beta)}{1 - \mu_r \cdot \tan\beta}}$ km/h
Ejemplo	≤ 96 km/h	≤ 137 km/h
Velocidad a la cual el vehículo vuelca	$v \leq 11{,}28\sqrt{\frac{b \cdot r_K}{2 \cdot h_S}}$ km/h	$v \leq 11{,}28\sqrt{\frac{\frac{b \cdot r_K}{2 \cdot h_S} + \tan\beta}{1 - \frac{b}{2 \cdot h_S} \cdot \tan\beta}}$ km/h
Ejemplo	≥ 120 km/h (μ_r ≥ 1,25)	≥ 184 km/h (μ_r ≥ 1,25)

Inclinación transversal en la curva

Eje de estabilidad transversal o eje de rodadura

La fuerza centrífuga que actúa en el centro de gravedad al recorrer una curva, produce una inclinación transversal con respecto a la dirección de marcha. La magnitud de esa inclinación depende de la rigidez de la suspensión en el caso de compresión alternativa de los muelles, y de la palanca de la fuerza centrífuga (distancia del centro de gravedad al eje de rodadura). El eje de rodadura es el eje instantáneo de rotación de la carrocería respecto al suelo. Como cuerpo sólido que es, la carrocería realiza en cada instante un movimiento helicoidal, es decir, una rotación a la vez que un avance a lo largo de un eje instantáneo.

Cuanto más alto está, es decir, cuanto más próximo está el eje de rodadura, a una paralela al centro de gravedad, tanto mayor es la estabilidad transversal o tanto menor la inclinación en las curvas. Pero como para esto por regla general el eje instantáneo de las ruedas igualmente debería desplazarse hacia arriba, aumentaría con ello la variación del ancho de vía (desfavorablemente para la seguridad de la marcha). Por ello se buscan tipos de construcciones que procuran un centro instantáneo alto junto con la menor variación del ancho de vía, en las cuales el eje instantáneo de las ruedas respecto a la carrocería esté no solamente lo más alto posible, sino también lo más apartado posible de la carrocería.

Determinación del eje de rodadura

De forma aproximada, el eje de rodadura se halla frecuentemente uniendo los centros instantáneos de rotación de la carrocería en los planos verticales al suelo, que pasan respectivamente por los ejes delantero y trasero del vehículo. Los centros de rotación instantáneos de la carrocería son los puntos que permanecen en reposo, sobre los que gira en cada instante la carrocería. El eje de rodadura es pues la recta que une dichos centros. Para la determinación gráfica de los centros instantáneos se aprovecha que los centros instantáneos de tres sistemas en movimiento relativo entre sí están sobre una base polar común.

Para el estudio más exacto del comportamiento espacial de las ruedas se recomienda, sin embargo, por la complejidad de las operaciones a realizarse (álgebra vectorial, geometría lineal, etc.), el uso de ordenadores de estructura matricial.

Bibliografía

E. v. d. Osten-Sacken: Berechnung allgemein räumlicher, vielgliedriger Gelenkgetriebe; Diss. TH Aachen 1970.

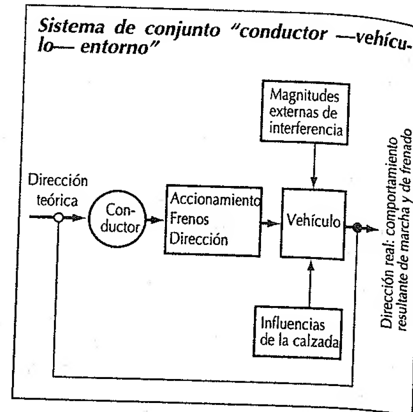
G. Prigge: Grundsätzliches der Ermittlung der Rollachse von Kraftfahrzeugen mit räumlichen Radführungen; Diss. TU Braunschweig 1972.

Análisis del comportamiento en marcha según ISO

En la dinámica del automóvil se define generalmente el comportamiento en marcha como el comportamiento conjunto de "conductor – vehículo – entorno". Como primer eslabón en esta cadena, el conductor evalúa, como suma de sus impresiones personales, la bondad del comportamiento en marcha. Los datos de comportamiento en maniobras escogidas sin influencia del conductor (funcionamiento "open-loop") describen objetivamente el comportamiento en marcha del vehículo. Puesto que el comportamiento del conductor no se puede definir hasta la fecha de forma precisa por una magnitud perturbadora objetiva, se sustituye por la creación de magnitudes de interferencias, analizándose y discutiéndose las reacciones resultantes del vehículo.

Las siguientes maniobras de conducción, normalizadas por ISO o en proceso de normalización (efectuadas sobre firme seco), sirven como procedimientos reconocidos para la calificación de vehículos [1], [2]:
- marcha en círculo estacionario[3].
- comportamiento de transición [4], [5], [6],
- frenado en curvas [7],
- sensibilidad al viento lateral,
- comportamiento en marcha recta hacia delante y
- cambio de carga en marcha circular.

Sistema de conjunto "conductor —vehículo— entorno"

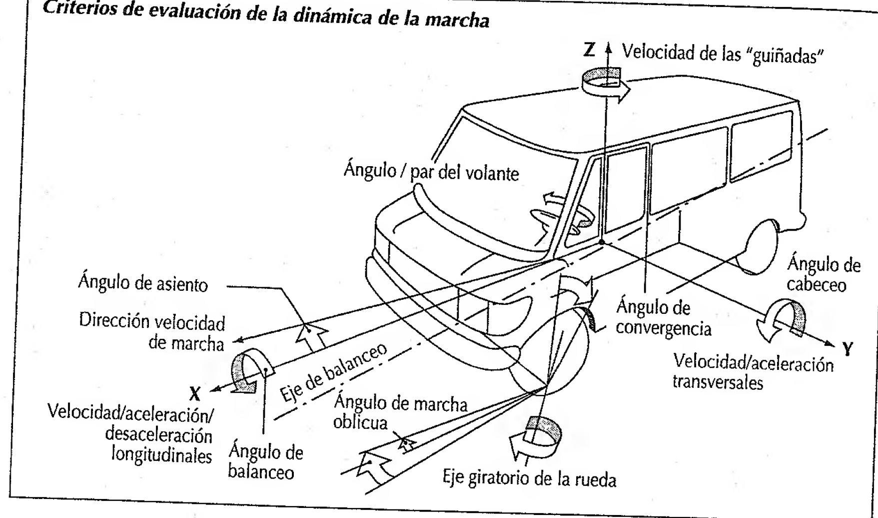


Una determinación objetiva de las características dinámicas de marcha en el círculo de regulación cerrado ("closed-loop") en la práctica hasta hoy no se ha conseguido del todo, porque todavía no se conoce de modo preciso el comportamiento del hombre.

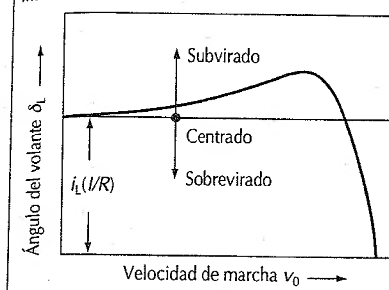
Magnitudes de medición

Los criterios principales para evaluar la dinámica de la marcha son:
- ángulo del volante,
- aceleración transversal,
- aceleración/desaceleración longitudinal,
- velocidad de las desviaciones ("guiñadas")
- ángulo de asiento y de balanceo.

Criterios de evaluación de la dinámica de la marcha



Definición del comportamiento en marcha en círculo (según Mischke [10])
i_L Relación del volante, l Distancia entre ejes, R (= constante) Radio de la curva, $i_L(l/R)$ Proporción de Ackermann

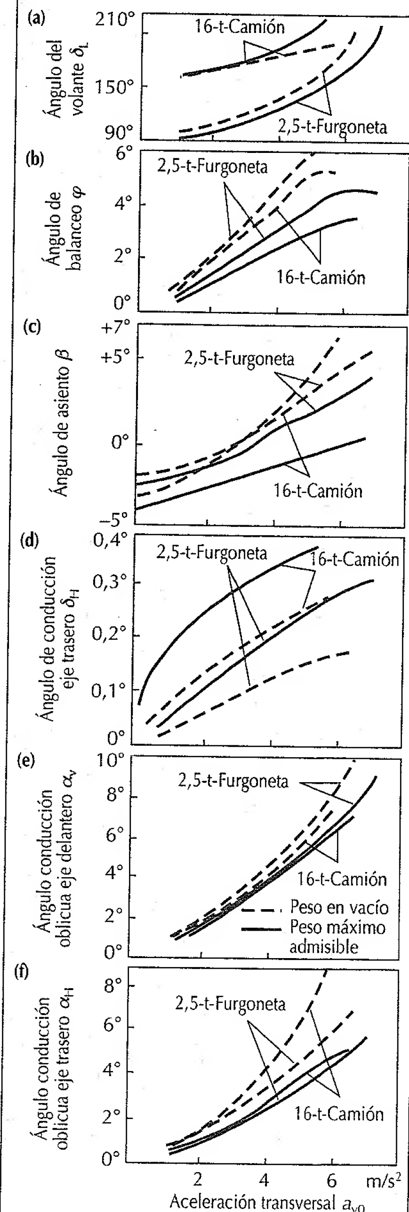


Para la comprobación de otros valores de medición hay informaciones adicionales redundantes para confirmar un comportamiento en marcha determinado:
- velocidades longitudinal y transversal,
- ángulos de conducción de las ruedas delanteras y traseras,
- ángulo de marcha oblicua en todas las ruedas
- ángulos de cabeceo y de convergencia
- par del volante.

Marcha en círculo estacionario

En la marcha en círculo estacionario, además de la aceleración transversal alcanzable, es sobre todo importante la variación de las diferentes magnitudes de la dinámica en marcha dependientes de la aceleración transversal hasta alcanzar el valor máximo, con lo cual se evalúa el comportamiento propio de conducción del vehículo [2], [3]. Actualmente la definición más utilizada del comportamiento de conducción considera las elasticidades en el sistema de gobierno y en las suspensiones de los ejes y crea los conceptos de "volante sobrevirado, subvirado y en el centro". Las magnitudes de la dinámica de la conducción y sus derivaciones para la descripción del comportamiento de conducción del vehículo, llevadas a escala en este procedimiento sobre la aceleración transversal, son p.ej. el ángulo del volante, el ángulo de balanceo y el ángulo de asiento. Otros parámetros de expresión sobre el vehículo son el ángulo del volante y el ángulo de la marcha oblicua.

Marcha en círculo estacionario (radio 42 m)
(a) Ángulo del volante, (b) Ángulo de balanceo, (c) Ángulo de asiento, (d) Ángulo de conducción eje trasero (conducción rodante), (e) Ángulo conducción oblicua eje delantero, (f) Ángulo conducción oblicua eje trasero



En la página anterior se representan los resultados para una furgoneta similar a un turismo y un camión pesado, sobre calzada seca.

Ángulo del volante
Los vehículos industriales pequeños alcanzan altas aceleraciones transversales porque llevan neumáticos parecidos a los de los turismos y por su alta potencia específica de accionamiento. Ambos vehículos subviran.

Ángulo de balanceo
Los movimientos de autoconducción de los ejes dependen en alto grado del ángulo de balanceo. Con mayor carga aumenta el ángulo, porque aumenta la masa del vehículo y con ello la fuerza centrífuga que actúa sobre él.

Ángulo de asiento
El ángulo de asiento a aceleración transversal alta sirve como medida de la capacidad de dominio del vehículo. Los valores absolutos grandes o un cambio en la tendencia del ángulo de asiento se consideran especialmente desfavorables [8].

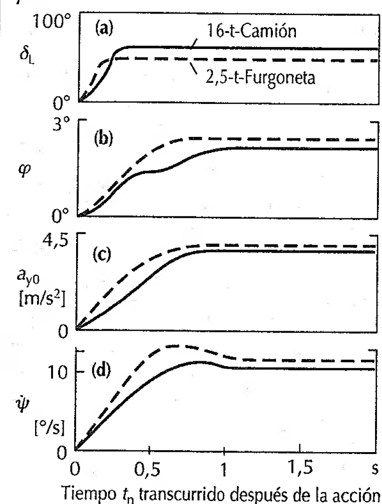
Con aceleraciones transversales bajas, la magnitud del ángulo de asiento depende del radio de la curva del recorrido y de la posición del centro de gravedad del vehículo, que varía en cada estado de carga.

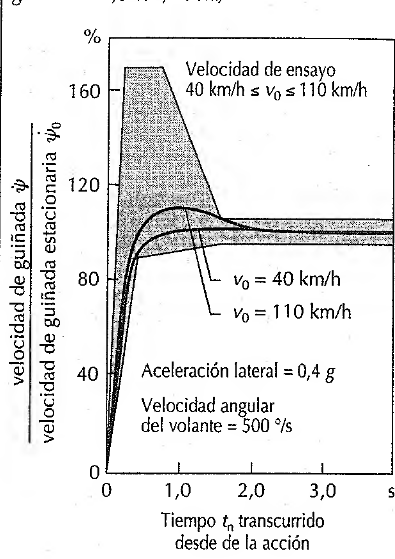
Conducción rodante del eje trasero
La curva del ángulo de conducción del eje trasero (ángulo de conducción rodante) evidencia, en función de la aceleración transversal, que el ángulo de conducción rodante disminuye al aumentar la carga del vehículo.

Ángulo de marcha oblicua
Mediante la representación de los ángulos de marcha oblicua de las diferentes ruedas se obtienen descripciones del comportamiento de autoconducción del vehículo. Los ángulos de marcha oblicua que aumentan con la carga es porque a mayor carga los neumáticos necesitan mayor ángulo de marcha oblicua[2], [9].

Comportamiento de transición

Aparte del comportamiento de autoconducción estacionaria, también el comportamiento de transición es de gran importancia (p.ej. para maniobras rápidas para esquivar obstáculos) [2]. Internacionalmente se han impuesto dos métodos de


Cambio repentino del ángulo de conducción *(sin carga, v_0 = 60 km/h)*
(a) Ángulo del volante δ_L, (b) Ángulo de balanceo φ, (c) Aceleración lateral a_{y0}, (d) Velocidad de "guiñada" $\dot{\psi}$


Curvas límite SAE para velocidad de "guiñada" en la prueba del "golpe de volante" *(Furgoneta de 2,5 ton, vacía)*

ensayo definidos según el aspecto de la función de iniciativa y representan la reacción del vehículo tanto en cuanto al tiempo como a la frecuencia:
- "step-input" (salto de ángulo de volante)
- "sinusoidal-input" (variación sinusoidal del ángulo del volante)

Salto de ángulo del volante (comportamiento en el tiempo)
Después de una conducción inicial en línea recta se produce la reacción del vehículo girando bruscamente el volante un ángulo predeterminado con velocidad angular alta (golpe de volante). Las magnitudes más importantes a medir son:
- ángulo del volante,
- velocidad de la "guiñada",
- velocidad de desplazamiento y
- aceleración transversal.

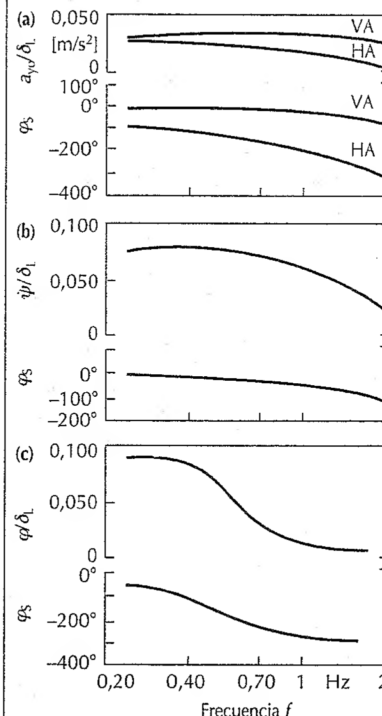
Como reacción a la aplicación de un "step-input" la furgoneta ligera evidencia una aceleración transversal más rápida y, en consecuencia, una reacción mayor de "guiñadas" que el camión pesado.

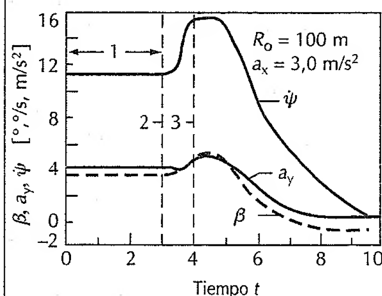
La SAE ha deducido con vehículos experimentales de seguridad (ESV) las exigencias o condiciones para el comportamiento en "guiñadas" no estacionario [11]. Los turismos similares pueden mostrar en la primera fase (que en cualquier caso se ha de amortiguar tras un tiempo determinado) una sobreoscilación relativamente alta.

Representación sinusoidal del ángulo del volante (respuesta)
La medición de la respuesta con ayuda de las magnitudes de entrada sinusoidales permanentes en el volante sirve igualmente de base para la valoración del comportamiento transitorio del vehículo. De ese modo se varían sus propiedades en cuanto a valor y fase en función del movimiento del volante. Para la valoración son ante todo apropiados [6]:
- el ángulo del volante,
- la aceleración transversal,
- la velocidad de tambaleo y
- el ángulo de basculación.

Frenado en curva

Una de las maniobras más críticas en la marcha cotidiana y por tanto más importante para la concepción del vehículo es el frenado en curva. Las reacciones del vehí-


Variación sinusoidal del ángulo del volante *(camión de 16 t, v_0 = 60 km/h, δ_L = 60°)*
Referido al ángulo del volante: (a) *Aceleración transversal a_{y0}/δ_L,* (b) *Velocidad de tambaleo $\dot{\psi}/\delta_L$,* (c) *Ángulo de basculación φ/δ_L; con ángulo de fase φ_S*


Intervalos de tiempo en el frenado en curva (camión de 7,5 t, cargado)
1 *Marcha en círculo estacionario,* 2 *Comienzo del frenado,* 3 *Punto de tiempo de evaluación,* $\dot{\psi}$ *Velocidad de "guiñada",* a_y *Aceleración transversal,* β *Ángulo de asiento*

culo en esta maniobra deben mostrar, según el concepto óptimo del vehículo, un acuerdo entre maniobrabilidad, estabilidad de conducción y frenado [2], [7]. Para una aceleración transversal inicial determinada, son de importancia el ángulo de asiento y la velocidad de las "guiñadas" en función de la desaceleración longitudinal.

Estando en marcha en un círculo estacionario con una aceleración transversal determinada, se frena el vehículo con desaceleración incrementada de forma escalonada. En vehículos con frenos hidráulicos se averigua después de cada marcha de medición, en función del tiempo, los valores de medición "1 s después del inicio del frenado" (en vehículos industriales pesados con frenos neumáticos 1,5 a 2 s después del inicio del frenado).

Ángulo de asiento

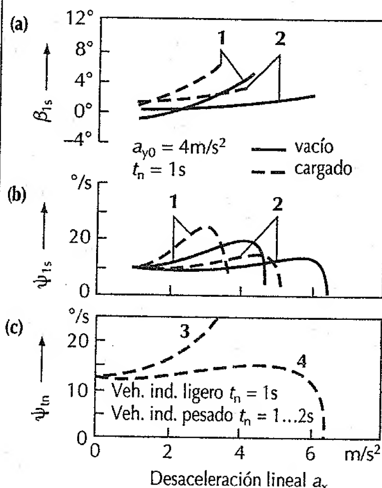
Al aumentar la desacelaración aumenta el ángulo de asiento, por la descarga del eje trasero y la reacción resultante de los neumáticos. En desaceleraciones altas, cerca del límite de adherencia, domina la influencia de la distribución de la fuerza de frenado sobre el ángulo de asiento que se origina. La secuencia de bloqueo de los diferentes ejes o de las ruedas tiene una influencia decisiva en la estabilidad del vehículo.

Velocidad de las "guiñadas"

El comportamiento de las "guiñadas" proporciona valores indicativos sobre la estabilidad o inestabilidad al frenar en curvas. En la figura la velocidad de las guiñadas de ambos vehículos tiende a cero al aumentar la desaceleración hasta el bloqueo completo de todos los ejes, lo cual indica un comportamiento de frenado aceptable. El vehículo se mantiene estable.

Reacciones típicas de guiñada al frenar en curvas

(a) Ángulo de flotación β_{1s} y (b) Velocidad de tambaleo ψ_{1s} 1 s después del inicio del frenado (t_n), (c) Velocidad de tambaleo ø en el tiempo t_n
1 Camión de 16 t, 2 Furgoneta de 2,5 t, 3 El vehículo comienza a derrapar, 4 El vehículo queda estable



Bibliografía:

[1] Rönitz, R.: Braess H.H.; Zomotor A. Verfahren und Kriterien des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen. Al 322, 1972, Heft 1.

[2] von Glasner E.C.; Einbeziehung von Prüfstandergebnissen in die Simulation des Fahrverhaltens von Nutzfahrzeugen. Habilitation. Universität Stuttgart, 1987.

[3] ISO. Road Vehicles – Steady State Circular Test Procedure. ISO, 1982, Nr. 4183.

[4] ISO. Road Vehicles – Double Lane Change. ISO, 1975, Tr3888.

[5] ISO. Draft Proposal for an international standard, Road Vehicles – Transient Response Test Procedure (Step/Ramp input). ISO/TC 22/SC 9/N 219.

[6] ISO. Draft Proposal for an international standard, Road Vehicles – Transient Response Test Procedure (Sinusoidal input). ISO/TC 22/SC 9/N 219.

[7] ISO Road Vehicles –Braking in a Turn – Open Loop Test Procedure. ISO/DIS 7975.

[8] Zomotor A.; Braess H.H.; Rönitz R. Doppelter Fahrspurwechsel, eine Möglichkeit zur Beurteilung des Fahrverhaltens von Kfz? ATZ 76, 1974, Heft 8.

[9] Mitschke M. Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer Verlag, 1. Auflage 1972, 2. Auflage 1982 und 1984 sowie folgende Auflagen.

[10] Mitschke M. Fahrtrichtungshaltung – Analyse der Theorien. ATZ 70, 1968, Heft 5.

[11] Mischke A.; Göhring E.; Wohlsdorf P.: von Glasner E.C. Contribution to the development of a Concept of Driving Mechanics for Commercial vehicles. SAE 83 0643.

Dinámica especial de vehículos industriales

Magnitudes y unidades

G_V	N	Carga sobre eje delantero
G_H	N	Carga sobre eje trasero
G_G	N	Peso total
G_F	N	Peso con suspensión elástica
U_V	N	Peso aprox. delante
U_H	N	Peso aprox. atrás
C_{DSt}	N·m/rad	Constante de muelle de torsión de todos los estabilizadores
$C_{FV,H}$	N/m	Constante de los muelles de eje
$C_{RV,H}$	N/m	Constante elástica de los neumáticos
$S_{FV,H}$	m	Canal de muelle
$S_{RV,H}$	m	Rodada de neumático
$m_{V,H}$	m	Altura del centro instantáneo
h_F	m	Altura centro de gravedad del peso con suspensión elástica
h_G	m	Altura centro de gravedad del vehículo
$C_{QV,H}$	N/m	Rigidez transversal del neumático
r	m	Radio de la curva

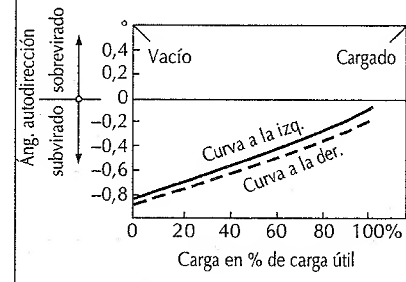
Comportamiento de autodirección

El ajuste del vehículo con respecto al comportamiento de autodirección, representa en su desarrollo —basado en técnicas de medición, banco de pruebas y simulación en cálculos— un proceso de optimización. Las magnitudes principales influyentes son la rigidez y disposición de la instalación de conducción, del bastidor y de la conducción de los ejes.

Hay que analizar las perturbaciones en el comportamiento de conducción en marcha recta y en curvas, que resultan del juego conjunto entre dirección y suspensión de las ruedas, sin la intervención del conductor. Se observan los movimientos de autodirección en los ejes trasero y delantero en marcha en curvas estacionarias, en el frenado del vehículo y el muelleado unilateral.

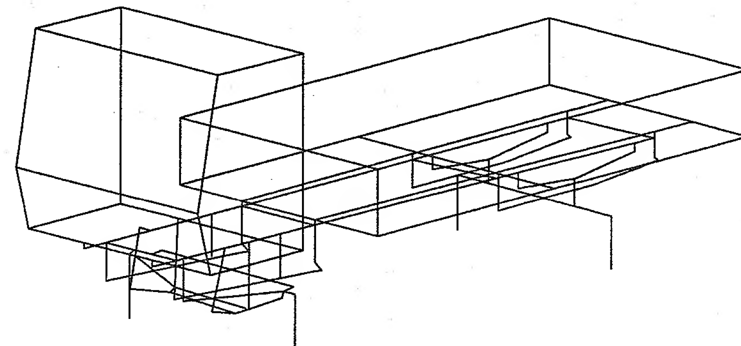
Los ejes rígidos con ballestas, efectúan, a muelleado unilateral, un movimiento giratorio alrededor del eje vertical del vehículo. Esta conducción rodante depende fuertemente de la inclinación de las ballestas. El comportamiento de autodirección neutral o ligeramente subvirado, deseado por motivos de seguridad de conducción, se puede obtener por la inclinación de la ballesta delantera desde delante arriba hacia atrás abajo y de la ballesta trasera de delante abajo hacia atrás arriba.

Ángulo de autoconducción de un camión de 16 t circulando en curva con una aceleración transversal de 3m/s²



Modelo FE de camión de dos ejes, para determinar el comportamiento de autodirección

Se tienen en cuenta la cinemática de la dirección y de la suspensión del eje así como la rigidez a la rotación del chasis



A acusa de las grandes diferencias de carga en las ruedas entre vehículo cargado y vacío, en los ejes traseros de un camión resulta una tendencia al subvirado al disminuir la carga.

En vehículos de tres ejes 6 x 4, por la estabilización del conjunto de doble eje en marcha recta, se produce un par de perturbación alrededor del eje vertical del vehículo. La necesidad de fuerza adicional de conducción lateral en los ejes trasero y delantero se calcula para marchas lentas de la siguiente manera:

Fuerzas de conducción lateral a considerar
$F_{S1} = F_{S2} - F_{S3}$ con
$F_{S2} = c_{p2} \cdot n_2 \cdot \alpha_2$
$F_{S3} = c_{p3} \cdot n_3 \cdot \alpha_3$

Ángulo de marcha oblicua

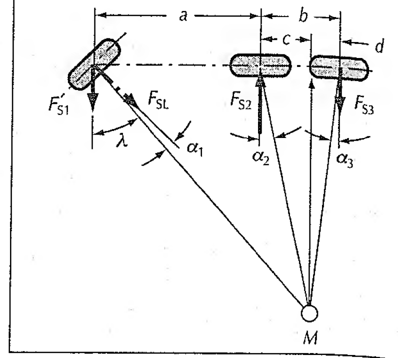
$$\alpha_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{c_{p3} \cdot n_3 \cdot b \cdot (a+b)}{c_{p3} \cdot n_3 \cdot (a+b) + c_{p2} \cdot n_2 \cdot a}$$

$$\alpha_3 = (b/r) - \alpha_2$$

siendo c_p coeficiente de conducción lateral tomado de las características de los neumáticos y
n número de neumáticos por eje; los restantes símbolos en la figura.

Estabilidad al vuelco
Al aumentar la altura total del vehículo crece el peligro del vuelco lateral en las curvas, antes de alcanzar el límite de resbalamiento. La averiguación exacta del límite de vuelco por simulación del proceso tiene en cuenta las elasticidades y los movimientos del centro de gravedad.

Fuerzas de conducción lateral F_s y ángulo de marcha oblicua α en un vehículo de tres ejes con doble eje no articulado



Aceleración transversal alcanzable en el límite de vuelco:

Furgoneta:	$b = 6$ m/s^2
Camión:	$b = 5$ m/s^2
Autocar de dos pisos:	$b = 3$ m/s^2

Requerimiento de ancho de vía
En las curvas los vehículos y los trenes, según sea su clase de dirección y unión con el remolque, barren una superficie mayor que en la marcha en línea recta. Como medida de la aptitud de los vehículos en determinadas situaciones (p.ej. pasos estrechos a través de poblados) y como certificación del cumplimiento de las prescripciones legales, se representa, para maniobras escogidas, la superficie barrida por los cantos exteriores extremos.

Estabilidad al vuelco
Fórmula aproximada para las velocidades límite v_{Kipp} (en km/h) de un camión de dos ejes:

$$v_{Kipp} = 7{,}98 \cdot \sqrt{\frac{r \cdot (G_V \cdot S_{RV} + G_H \cdot S_{RH})}{G_G \cdot h_G + \frac{G_{V^2}}{C_{QV}} + \frac{G_{H^2}}{C_{QH}} + \frac{G_{F^2} \cdot H_{m^2}}{C_D - G_F \cdot h_m}}}$$

$$\text{con } C_D = \frac{C_{DF} \cdot C_{DR} \cdot i^2}{C_{DF} + C_{DR} \cdot i^2};\quad i = \frac{h_m}{h_m + m};$$

$$h_m = h_F - m;\quad m = \frac{(G_V - U_V) \cdot m_V + (G_H - U_H)\, m_H}{G_F}$$

$$C_{DF} = 1/2 \cdot (C_{FV} \cdot S_{FV^2} + C_{FH} \cdot S_{FH^2}) + C_{Dst}$$

$$C_{DR} = 1/2 \cdot (C_{RV} \cdot S_{RV^2} + C_{RH} \cdot S_{RH^2})$$

El cálculo se efectúa mediante programas de ordenador según el principio de las curvas en arrastre.

Comportamiento en marcha
Para la evaluación objetiva del comportamiento en marcha se efectúan diferentes maniobras, como la marcha en círculo estacionario, salto de ángulo del volante, derrape/respuesta y frenado en curva.

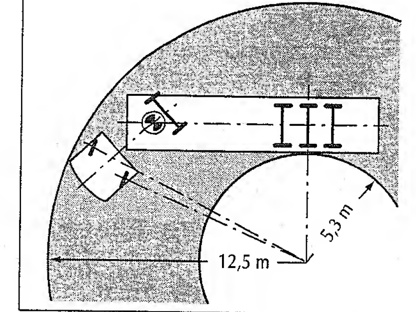
Las combinaciones tractoras normalmente evidencian un comportamiento de dinámica transversal distinto al de los vehículos individuales. Merecen especial atención las distintas condiciones de carga de la máquina tractora y del remolque, así como también el tipo de construcción y la forma conjunta de la unión de ambos.

Las perturbaciones de la marcha en línea recta por oscilaciones giratorias de las masas del vehículo alrededor del eje vertical contra los neumáticos como elementos elásticos son originadas por:
- movimientos rápidos del volante para esquivar obstáculos,
- ráfagas de viento lateral y
- inclinaciones, obstáculos unilaterales y vías (de tranvía o de tren) en la calzada.

Para la ondulación estable deben amortiguarse rápidamente estas amplitudes de oscilación pendular.

Las respuestas de la velocidad de desviación de la dirección de diferentes combinaciones de tractor /remolque las evidencian en los peores casos los tractores (vacíos) con remolque cargado en el eje central en el transcurso de una sobreelevación de resonancia. El conducir en tales condiciones requiere por parte del conductor mucha cautela.

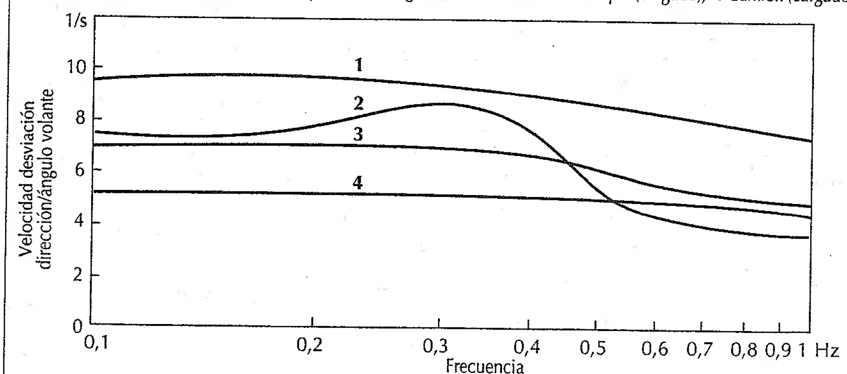
Vehículo articulado en el círculo de fuerza BO según StVZO



En trenes de remolque existe el peligro de doblarse por en medio (jackknifing) en condiciones extremas de frenado.

Este proceso se origina por pérdida de fuerzas laterales del eje trasero del tractor al frenar excesivamente sobre calzada resbaladiza o por un par de rotación demasiado alto bajo condiciones de split μ. El método más seguro para evitar el "jackknifing" es la instalación de sistemas de antibloqueo, prescritas legalmente para vehículos de más de 16 toneladas desde el 1.10.1991.

Respuesta de frecuencia de la velocidad de desviación de la dirección
1 *Trailer (cargado),* **2** *Camión con remolque (vacío/cargado),* **3** *Camión con remolque (cargado),* **4** *Camión (cargado)*



Requerimientos de los tractores agrícolas

Magnitudes y unidades

Magnitud		Unidad
F	Fuerza del peso (carga sobre ruedas) de una rueda	N
F_R	Resistencia a la rodadura	N
F_{Rh}	Resistencia a la rodadura trasera	N
F_{Rv}	Resistencia a la rodadura delantera	N
F_{St}	Resistencia a la subida	N
F_T	Fuerza motriz en perif. de la rueda	N
F_{Th}	Fuerza motriz trasera	N
F_{Tv}	Fuerza motriz delantera	N
F_w	Resistencia del suelo	N
F_Z	Fuerza de tracción del tractor	N
F_{Zerf}	Neces. fuerza de trac. del vehículo	N
P_e	Potencia nominal del motor	kW
P_{Getr}	Pérd. de potencia en caja cambios	kW
P_N	Potencia nominal del motor	kW
P_R	Potencia para el automovimiento hacia adelante	kW
P_S	Pérd. de potencia por resbalamiento	kW
P_{St}	Potencia en subida	kW
P_Z	Potencia de tracción	kW
v	Velocidad de marcha	km/h
v_o	Velocidad tangencial de una rueda motriz	km/h
η_{Getr}	Rendimiento del cambio	–
η_L	Rendimiento de traslación de un tractor	–
η_r	Rendim. de tras. de una rueda motriz	–
η_Z	Rendimiento de tracción	–
λ	Grado de carga del motor	–
χ	Coefic. de la fuerza tractora	–
ρ	Coefic. de resistencia a la rodadura	–
σ	Resbalamiento	%

Campo de aplicación

Los tractores agrícolas se utilizan para el transporte en el campo y trabajos en granjas. La potencia del motor se transforma, según sea el mecanismo, en potencia útil en las ruedas motrices o adicionalmente también en el árbol de toma de fuerza o en las conexiones hidráulicas. En la República Federal de Alemania se fabrican y utilizan tractores con una potencia de motor de hasta unos 250 kW y pesos de hasta 120 kN.

Al aumentar la potencia del motor aumentan también los problemas para soportar las fuerzas de capacidad portadora sobre el suelo del peso correspondiente en neumáticos de gran volumen, así como la conversión de la potencia del motor en potencia de tracción a velocidades de marcha significativas.

Requerimientos importantes

– Elevada fuerza de tracción, elevado rendimiento de tracción.
– Motor con elevado aumento del par y escaso consumo específico de combustible.
– Velocidad de marcha (velocidad del tipo de construcción), según sean el campo de aplicación o las distancias de transporte, hasta 25, 32, 40, 50 km/h y en tractores especiales más de 60 km/h; escalonado de forma múltiple, en especial hasta 12 km/h, para el máximo de condiciones de carga.
– Capacidad de accionamiento de aparatos de trabajo a través del árbol de toma de fuerza y conexiones hidráulicas. Posibilidad también de instalación frontal de aparatos y de accionamiento frontal de aparatos.
– Control y servicio de los utensilios de trabajo desde el asiento del conductor, por ejemplo, por medio de cilindros elevadores (pág. 770).
– Disposición visible y ergonómica práctica de la palanca de accionamiento.
– Regulación del ancho de vía en tractores para campos con el fin de adaptarlos a la distancia entre las hileras de cultivos.
– Protección del conductor contra sacudidas, polvo, ruido, influencias climatológicas y accidentes.
– Campo de aplicación universal.

Requerimiento de fuerza tractora y potencia de tracción en trabajos agrícolas

La fuerza de tracción depende en primer lugar de la fuerza del peso del tractor, del tipo de accionamiento (accionamiento en las ruedas traseras o en todas las ruedas) y de las propiedades en servicio de los neumáticos del tractor. Las propiedades en servicio de los neumáticos tractores de un tractor agrícola dependen además, entre otras cosas, del estado del suelo (contenido de humedad, volumen de poros), dimensiones de los neumáticos, tipo de construcción de las cubiertas (neumáticos diagonales), perfil del neumático y presión de aire en el neumático. De acuerdo con las características de servicio mencionadas un tractor de ese tipo alcanza su fuerza de tracción máxima, sólo con elevado resbalamiento, pero su potencia de tracción máxima con un resbalamiento relativamente pequeño y una fuerza de tracción menor. La potencia de tracción de un tractor con tracción en todas las ruedas con una carga normal del motor del 90 % y en condiciones favorables, es como máximo el 60 % de la potencia nominal del motor.

La potencia efectiva del motor es:

$P_e = P_Z + P_R + P_S + P_{Getr}$
($+ P_{St}$ en el caso de pendiente de subida)

La potencia de tracción se calcula:

$P_Z = F_Z \cdot v$

La potencia para el movimiento de traslación propia con tracción en las ruedas traseras, es:

$P_R = F_{Rv} \cdot v + F_{Rh} \cdot v_0$

La pérdida de potencia por resbalamiento es:

$P_S = F_T \cdot (v_o - v) = F_T \cdot \sigma \cdot v_o$

La pérdida de potencia en el cambio se calcula por la fórmula

$P_{Getr} = P_e \cdot (1 - \eta_{Getr})$

Para el rendimiento, se tiene:

Tracción en las ruedas traseras

$$\eta_L = \frac{F_{Th} - F_{Rv}}{F_{Th} + F_{Rv}} \cdot (1 - \sigma)$$

Tracción en todas las ruedas:

$$\eta_L = \frac{F_{Th} + F_{Tv}}{F_{Th} + F_{Tv} + F_{Rh} + F_{Rv}} \cdot (1 - \sigma)$$

Tracción en una sola rueda:

$$\eta_T = \frac{F_T}{F_T + F_R} \cdot (1 - \sigma) = \frac{\chi}{\chi + \rho}(1 - \sigma)$$

Los coeficientes se calculan como sigue:

$\eta = F_T/F$
$\rho = F_R/F$
$\lambda = P_e/P_N$
$\sigma = (v_o - v)/v_o$

Fuerza de tracción necesaria de los aparatos y remolques agrícolas

Para la fuerza de tracción necesaria se considera una circulación no acelerada en terreno plano, con una resistencia a la rodadura F_R (por ejemplo, remolques agrícolas), o con la resistencia del suelo F_w (por ejemplo, el combinado de lecho de siembra) o con ambas a la vez (por ejemplo, la cosechadora de remolachas remolcada). La resistencia a la rodadura se calcula partiendo del coeficiente de resistencia a la rodadura y de la suma de las fuerzas del peso soportadas por las ruedas

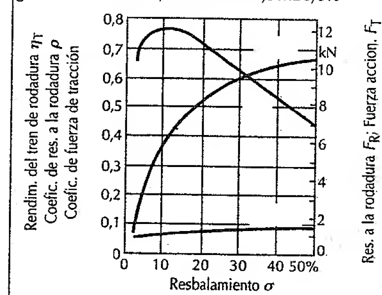
$F_R = \rho \cdot \sum F$

Para neumáticos sobre el asfalto: $\rho = 0{,}03$
Para neumáticos sobre tierra de labor:
$\rho = 0{,}04$ a $0{,}35$

La resistencia del suelo depende del tipo de suelo, de su estado, del número y forma de los útiles, de la profundidad de trabajo y de la velocidad de marcha. Para el arado se puede contar con una resistencia específica del suelo, de 400 a 600 N/dm² de media y de 600 a 1000 N/dm² con suelos pesados. Como cultivador, la resistencia del suelo por cada metro de anchura de trabajo en suelos de carácter medio y velocidades entre 6 y 9 km/h está en 5500 a 7800 N o 11000 a 12500 N para profundidades de trabajo de 13 a 15 cm o de 22 a 25 cm, respectivamente.

Características de funcionamiento de un neumático de rueda de accionamiento o tractora de un tractor agrícola

Neumáticos: 16,9/14-30 AS; Carga de rueda 1582 daN; Presión inferior 1,1 bar; suelo LT; Rastrojo de trigo arado con discos, humedad 17,3...20,8%



Ejemplos de potencia necesaria para aperos de labranza accionados por el árbol de toma de fuerza, con suelos de carácter mediano y para un ancho de trabajo de 1 m.

Apero	Potencia de motor necesaria kW	Profundidad de trabajo en cm	Velocidad de trabajo en km/h
Fresa de laboreo en suelo suelto	10,5...25	8	3...7
Rastrillo vibratorio	8...22	8	3,5...6,5
Rastillo circular	0...15	8	3,5...6,5

Solicitaciones climáticas del equipo del vehículo

Magnitudes medioambientales de influencia climática

Las solicitaciones medioambientales de los equipos del automóvil resultan de la influencia del macroclima natural, las influencias producidas por el propio vehículo (p.ej. vapor de carburante) y el microclima en el interior del compartimiento de dispositivos (p.ej. el calor desprendido por el funcionamiento de aparatos eléctricos). A continuación se enumeran los diferentes factores medioambientales climáticos.

Temperatura y cambios de temperatura

El intervalo de temperaturas abarca desde valores extremadamente bajos (almacenamiento, transporte) hasta las altas temperaturas determinadas por el motor de combustión.

Humedad del aire y cambios de humedad

El intervalo abarca desde el clima seco del desierto hasta el húmedo tropical y en casos especiales incluso aún más (p.ej. causados por salpicaduras de agua sobre el bloque caliente del motor). Una solicitación especialmente dura se da con calor húmedo (alto grado de humedad a alta temperatura). Además, en los cambios de humedad aparece condensación en las superficies, que provoca corrosión atmosférica.

Atmósfera corrosiva

La niebla salina que se origina durante la marcha por carreteras cubiertas de sal anticongelante y en las regiones costeras, provoca corrosión electroquímica y atmosférica.

Atmósfera de clima industrial. En zonas industriales provoca corrosión por ácidos en superficies metálicas.

Los gases nocivos (SO_2, H_2S, Cl_2 y NO_x), que de forma creciente están contenidos en la atmósfera, provocan, a su debida concentración y especialmente a altos niveles de humedad, la formación de capas de productos ajenos sobre los materiales de contacto.

Agua

La solicitación producida por agua de lluvia y salpicaduras sobre carretera mojada por la lluvia y por raciones de agua del mar o lagos, por lavados del vehículo y del motor y en casos especiales por inmersión, provocan solicitaciones de distintas intensidades.

Productos químicos líquidos

Según sea el lugar de su uso, éste debe ser capaz de resistir a los productos químicos líquidos que se emplean durante el funcionamiento normal y el mantenimiento. En el compartimiento del motor son carburante (también en forma de vapor), aceite de motor y limpiadores en frío; para trabajos especiales se agregan otros líquidos, p.ej. para los componentes del sistema de frenos el líquido de frenos.

Arena y polvo

La solicitación por arena y polvo provoca interferencias en piezas que tengan movimiento relativo. Además una capa de polvo bien formada, junto con la humedad, origina corrientes eléctricas parásitas en circuitos eléctricos.

Radiación solar

La radiación solar provoca el envejecimiento de plásticos y elastómeros y por tanto debe ser tenida en cuenta en piezas colocadas en el exterior.

Presión atmosférica

Las variaciones de la presión atmosférica influencian en la seguridad y función de componentes que trabajan con diferencias de presión, membranas y otros.

Simulación de las solicitaciones en el laboratorio de ensayos

La simulación de clima/medio ambiente en parte se efectúa según métodos de comprobación estandarizados (DIN IEC 68 Ensayos de ambiente para la electrotecnia) , pero también según programas de comprobación desarrollados en la práctica para el caso particular con objeto de conseguir la mejor coincidencia posible con las solicitaciones reales ("test tailoring").

Simulación de temperatura, cambios de temperatura y humedad del aire

La simulación se efectúa en cámaras de temperatura y climáticas y también en habitaciones transitables climatizadas.

La comprobación referente a calor seco permite valorar la aptitud del componente para su funcionamiento o almacenamiento a altas temperaturas. Para ello debe ser comprobada la influencia del calor no sólo sobre su función, sino también sobre las características del material. Según sea dónde se aplica (carrocería, motor, instalación de gases de escape), el grado de temperatura abarca un amplio intervalo. La duración de la solicitación puede llegar a ser de varios centenares de horas.

Comprobación del comportamiento de funcionamiento del sistema en frío, en especial del arranque, así como también de las variaciones de las características del material a temperaturas bajas. El intervalo de temperaturas llega hasta –45 °C para el comportamiento de funcionamiento y hasta –55 °C para el almacenamiento. Las duraciones de solicitaciones son 100 h, menos que para el calor seco.

Otra comprobación simula cambios de temperatura entre los valores extremos que aparecen en la práctica. Además el grado de solicitación es determinado por el gradiente de temperatura y el tiempo de aplicación, que debe ser lo suficientemente largo como para permitir la adaptación completa de la temperatura de la pieza que se ensaya. El cambio de temperaturas provoca el envejecimiento del material así como también tensiones mecánicas en el componente a causa de dilataciones diferentes. La selección apropiada de los parámetros de ensayo reduce considerablemente la duración de los ensayos.

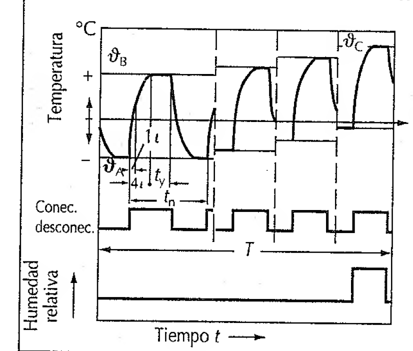
La comprobación referente a la humedad del aire a calor húmedo constante (p.ej. +40 °C /93% hum. rel.) sirve para la evaluación de un elemento apto para funcionar y ser almacenado con alta humedad relativa (clima tropical).

Simulación de atmósfera corrosiva

El riego con niebla salina se produce mediante el pulverizado de una solución de NaCl al 5% a temperatura ambiente de 35 °C. Según sea la ubicación del montaje, los tiempos de ensayo pueden llegar a ser hasta de varios centenares de horas.

El ensayo de clima industrial cambia cíclicamente hasta 6 veces entre almacenamiento durante 8 horas a 40 °C/100% hum. rel.

Programa de ensayo para la simulación de factores de solicitación combinados entre sí



con el 0,67% de SO_2 y almacenamiento durante 16 horas a temperatura de ambiente.

El ensayo con gases nocivos con SO_2, H_2S, NO_x y Cl_2 se realiza como ensayo con un solo gas o con varios gases a la vez, a 25 °C/75% hum. rel. a concentraciones del orden de ppm y ppb, y duración hasta 21 días.

Simulación de la solicitación por agua

La simulación de salpicaduras de agua se efectúa con un chorro giratorio. Se pueden regular diferentes intensidades de ensayo mediante la variación de la presión del agua, el ángulo del chorro y el ángulo oscilante. Para el ensayo de chorro de agua se utilizan chorros fuertes de agua y para el ensayo de lavado de motor equipos usuales del comercio de limpieza con chorro de vapor.

Productos químicos líquidos

En la simulación se chorrea la pieza a ensayar con el correspondiente agente químico durante un tiempo definido. Después se almacena a temperatura elevada durante 24 horas. Según sean los requerimientos reales, se repite este ciclo de comprobación varias veces.

Simulación de la solicitación por arena y polvo

Para la simulación de polvo se utiliza un dispositivo que regula la densidad de polvo en aire en movimiento a 5 g/m³. Como polvo se utiliza generalmente una mezcla de polvo de cal y cenizas volantes.

Solicitaciones combinadas
La combinación de temperatura, cambios de temperatura y humedad con funcionamiento eléctrico sobrepuesto de la pieza origina una buena coincidencia con los efectos de envejecimiento previstos bajo solicitaciones extremas en la práctica. La ventaja de este ensayo reside en su cercanía a la práctica, mientras que su desventaja está en su duración, que generalmente es mayor que la de los ensayos particulares.

Motores de combustión interna

Sistema de trabajo y sistemática

Los motores de accionamiento que más se emplean en los automóviles son los de combustión interna. Generan su potencia por transformación de la energía química contenida en el combustible en calor y la de éste en trabajo mecánico.

La transformación de la energía química en calor se realiza por combustión; la de la energía calorífica en trabajo mecánico por su transmisión a un medio de trabajo, cuya presión aumenta y la consiguiente expansión produce trabajo.

Como medios de trabajo se utilizan líquidos que por transformación de fase (vaporización) o gases que al comprimirlos aumentan la presión de trabajo en cuestión.

Para la combustión de los combustibles, que en su mayoría son hidrocarburos, se precisa oxígeno, que normalmente se introduce con el aire.

Si la combustión tiene lugar en el propio espacio de trabajo, se denomina combustión interna. En ese caso los gases de la combustión se utilizan directamente como medio de trabajo.

Si la combustión tiene lugar fuera del espacio de trabajo, se trata de combustión externa.

Si la cesión de trabajo mecánico debe proseguir continuamente, sólo se puede conseguir esto por medio de una marcha cíclica (motor de pistones) o continua (turbina), de la absorción de calor expansión (cesión de trabajo) y vuelta del medio de trabajo a su estado inicial (proceso cíclico).

Si en la absorción de calor, el medio de trabajo se modifica por utilización, por ejemplo, de una parte de sus componentes como agente oxidante, la vuelta al estado inicial sólo será posible por intercambio. Se habla entonces de proceso abierto o intercambio de gas (desplazamiento de los gases de la combustión e introducción de carga nueva) en un proceso de trabajo cíclico. A consecuencia de esto, la combustión interna exige siempre que se realice un proceso abierto.

En la combustión externa el medio de trabajo apropiado permanece sin modificación química, motivo por el cual mediante un método adecuado (enfriamiento, condensación), puede llevarse de nuevo a su estado inicial. De ese modo es posible el proceso cerrado.

Junto a las características impuestas de la marcha del proceso (abierto/cerrado) y el tipo de combustión (cíclica/continua), también pueden diferenciarse los procesos de trabajo de los motores de combustión por la formación de la mezcla y el encendido.

Si la formación de la mezcla tiene lugar fuera de la cámara de combustión, se habla de formación exterior de mezcla. Puesto que con este tipo de formación de mezcla en el momento de iniciarse la combustión la mezcla aire-combustible se presenta básicamente homogénea. se denomina también mezcla homogénea.

Se entiende por mezcla interna la aportación directa de combustible a la cámara de combustión. Cuanto más tarde tenga lugar la formación de mezcla interna, más heterogénea será la mezcla de aire y combustible en el instante de la iniciación de la combustión. La mezcla interna se llamará por ello también mezcla heterogénea. Si la combustión se inicia por medio de una chispa eléctrica o una bujía, se habla de encendido externo. Se produce autoencendido cuando la mezcla se comprime y alcanza o sobrepasa la temperatura de encendido.

Tabla 1. Sistemática del motor de combustión

Forma de realizar el proceso		Proceso abierto				Proceso cerrado	
		Combustión interna				Combustión externa	
		Gas combustible ≙ Medio de trabajo				Gas combustible + Medio de trabajo	
						Cambio de fases del medio de trabajo	
						no	sí
Tipo de combustión		Combustión ciclíca			Combustión continua		
Tipo de encendido		Autoencend.	Encendido externo				
Tipo de motor	Motor ≙ Máquinas que const. el espacio de trabajo	Diesel	Híbrido	Otto[1]	Rohs	Stirling	Vapor
Tipo de motor	Turbina	–	–	–	Gas	Vapor caliente	Vapor
Tipos de mezclas		heterogénea (en la camara de comb.)		homogénea	heterogénea (en llama continua)		

[1] En españa, motor de explosión simplemente

Ciclos

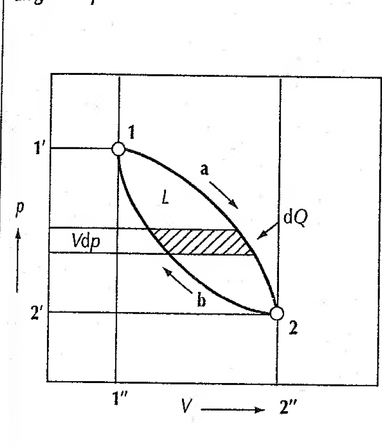
El diagrama *p-V*
La energía calorífica sólo puede transformarse de forma continua en energía mecánica si el medio de trabajo cambia su estado y además con posibilidad de retorno a su estado inicial.

Para el trabajo técnico sólo son interesantes los cambios de presión, con los cambios de volumen correspondientes, que se pueden representar en un diagrama de: Presión-Volumen-Trabajo, denominado abreviadamente diagrama *p-V*.

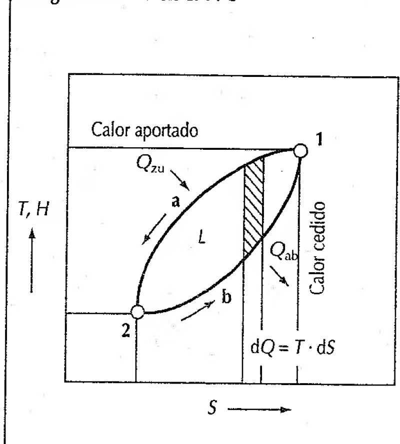
La aportación de calor y los cambios de estado del medio de trabajo deben realizarse como indica la figura, de modo que en el transcurso del ciclo 1 → 2, el trabajo producido sea mayor que el trabajo del proceso inverso de 2 → 1, lo que produce una área que corresponde al trabajo obtenible $L = \oint Vdp$.

El diagrama *T-S*
Con el fin de poder poner de manifiesto las energías caloríficas que se aportan y ceden en este proceso cíclico, se utiliza igualmente el diagrama de Temperatura-Entropía, denominado abreviadamente diagrama *T-S*.

***Esquema de un ciclo termodinámico en el diagrama** p-V*



***Esquema de un ciclo termodinámico en el diagrama** T-S **o en el** H-S*



En el diagrama *T-S* las cantidades de calor se representan como superficies, lo mismo que los trabajos en el diagrama *p-V*. Conociendo los calores específicos del medio de trabajo, en virtud de $dH = c_p \cdot dT$ se obtiene del diagrama *T-S* el diagrama *H-S*, el denominado diagrama Entalpía-Entropía.

El proceso cíclico representado en el diagrama *p-V* de la página 359, da en este diagrama el calor aportado al sistema a lo largo del tramo a

$$Q_{zu} = \int_2^1 T_a \, dS$$

y el calor cedido a lo largo del tramo b

$$Q_{ab} = \int_2^1 T_b \, dS, \text{ con lo que}$$

$$Q_{zu} - Q_{ab} = L = \oint V dp$$

que corresponden al trabajo mecánico obtenible (diferencia entre el calor aportado y el calor cedido). El diagrama muestra además, que basándose en la igualdad del trabajo mecánico y la diferencia entre las cantidades de calor, se puede definir un rendimiento térmico, y que entre dos temperaturas dadas del medio de trabajo debe existir un ciclo teórico, que permite un máximo de trabajo técnico.

Ciclo de Carnot

Este proceso cíclico descrito en 1824 por Carnot se compone de dos cambios de estado isotérmicos[1] y dos isoentrópicos[2], que dan la superficie máxima entre T_{max} y T_{min} en el diagrama *T-s*. El rendimiento entre los mismos límites de temperatura continuos, no es sobrepasado por ningún otro y es por ello el mejor sistema posible para transformar calor en trabajo:

$$\eta_{thCarnot} = (T_{max} - T_{min})/T_{max}$$

Pero como tanto la compresión isotérmica, es decir el aumento de la presión en el medio de trabajo sin aumento de temperatura, como la expansión isotérmica no son realizables técnicamente, los motores de combustión trabajan según otros ciclos.

Para el estudio teórico se utilizan hoy en día los siguientes procesos comparativos:

El proceso a volumen constante para todos los motores de pistón con combustión y producción de trabajo, periódicos, y

el proceso a presión constante para todas las turbinas con combustión y producción de trabajo, continuos.

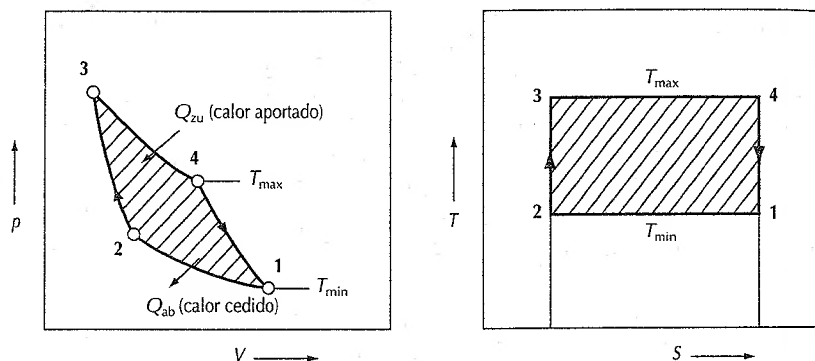
Ambos procesos se tratarán con más detalles en sus máquinas correspondientes.

[1] Cambio de estado isotérmico: Temperatura invariable.

[2] Cambio de estado isoentrópico: adiabático (no se aporta ni cede calor) y sin rozamiento (reversible).

[3] Cambio de estado isócoro: Volumen constante, ver pág. 361.

Ciclo de Carnot en el diagrama *p-V* y el *T-S*



Motor de émbolos alternativos de combustión interna

Funcionamiento

En todos los motores de émbolos alternativos, se comprime periódicamente aire o una mezcla de aire y combustible dentro del cilindro de trabajo, se enciende la mezcla o el combustible que se inyecta en el aire caliente y comprimido, y entra en función la combustión del combustible. El trabajo útil producido se transforma por medio del eje cigüeñal en un par de giro que se aplica al extremo de ese eje.

Además del diagrama *p-V* que genera la carrera del émbolo y que describe el ciclo de trabajo real del motor, y la presión media de trabajo p_{mi} en el cilindro durante un ciclo de trabajo completo, se utilizan hoy también los diagramas de más fácil obtención de presión-tiempo (*p-t*) o el de posición del cigüeñal Presión/Ángulo de posición del cigüeñal (*p-α-*), cuya superficie no es precisamente una medida directa del trabajo en el diagrama, pero que dan datos importantes como el instante del encendido o la presión máxima durante la combustión, de forma muy visible. El producto de la presión media de trabajo en el cilindro por el volumen de la carrera, da el trabajo del émbolo y el número de ciclos de trabajo por unidad de tiempo, la potencia del émbolo o la potencia interna ("indicada") de un motor. La potencia de un motor de combustión con émbolo alternativo aumenta pues con el número de revoluciones.

Ciclo comparativo para motores de émbolos alternativos de combustión interna

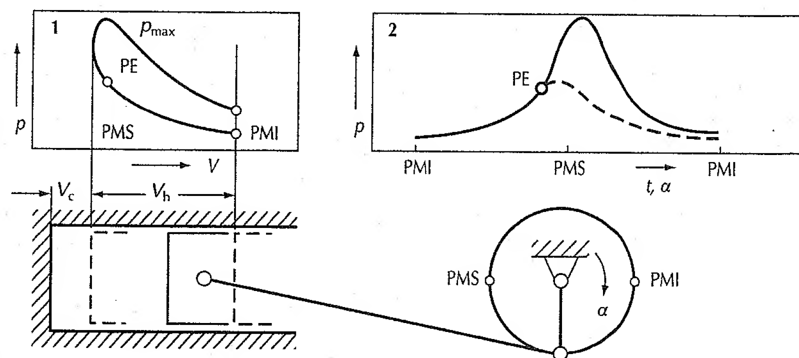
Como proceso de comparación termodinámico para los motores de émbolo alternativo de combustión interna, se utiliza el llamado "Proceso a volumen constante", que se compone de una compresión isoentrópica, una aportación de calor isócora[3], y de un retorno también isocórico del gas de trabajo ideal al estado inicial del proceso. Las condiciones marginales del proceso son en ese caso

- Ninguna pérdida de calor ni de gas, ningún gas residual;
- Gas ideal con calor especifico constante c_p, c_v y

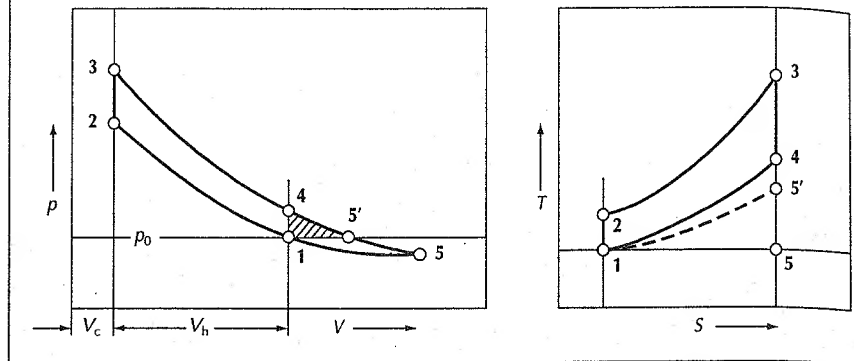
$$\chi = c_p/c_v = 1,4;$$

- Aportación y cesión de calor infinitamente rápidos;
- Ninguna pérdida en la circulación del gas.

Desarrollo del ciclo de trabajo del motor
1 *En el diagrama Presión-Volumen,* **2** *En el diagrama Presión-Tiempo o Presión-ángulo del cigüeñal*



Ciclo comparativo a igualdad de volumen en el diagrama p-V y en el T-S



La superficie 4-5-1 no es utilizable directamente a causa de la expansión final causada por el cigüeñal. Si se conecta una turbina de gases de escape, se puede utilizar la parte 4-5'-1 que está por encima de la presión atmosférica.

El rendimiento del ciclo comparativo a volumen constante se calcula igual como todos los rendimientos térmicos:

$$\eta_{th} = \eta_v = (Q_{zu} - Q_{ab})/Q_{zu}$$

con $Q_{zu} = Q_{23} = m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$ y
$Q_{ab} = Q_{41} = m \cdot c_v \cdot (T_4 - T_1)$

Con igual χ para la compresión y la expansión:

$$\eta_{th} = 1 - Q_{ab}/Q_{zu} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$= 1 - T_1/T_2$$

con $T_2/T_1 = \varepsilon^{\chi-1}$ se obtiene $\eta_{th} = 1 - \varepsilon^{\chi-1}$

por lo que la relación de compresión se define como $\varepsilon = (V_c + V_h)/V_c$, siendo V_h e volumen de la carrera y V_c el volumen de la compresión.

Los motores de combustión trabajan sin embargo con procesos cíclicos que no son ideales, sino con gas real y tienen pérdidas técnicas de caudal, termodinámicas y mecánicas.

Cadena de rendimientos (DIN 1940)

El rendimiento útil η_e comprende la suma de todas las pérdidas y por ello puede definirse como la relación entre el trabajo mecánico cedido hacia fuera (efectivo), y el equivalente en trabajo mecánico del combustible utilizado:

$$\eta_e = W_e/W_B \text{ siendo}$$

W_e el trabajo efectivo disponible en el embrague y
W_B el contenido de trabajo del combustible aportado.

Con el fin de poder diferenciar mejor las pérdidas, se puede considerar el grado de transformación del combustible η_b que da la calidad de la combustión:

$$\eta_b = (W_B - W_{Bo})/W_B, \text{ donde}$$

W_B es, como antes, el contenido de trabajo del combustible aportado y
W_{Bo} el contenido de trabajo del combustible no quemado.

La combustión completa es sencillamente imposible en cualquier estado de funcionamiento.

Una parte del combustible aportado no se quema (parte de hidrocarburos en el gas de escape) o sólo lo hace incompletamente (proporción de CO en los gases de escape). En ciertas condiciones de funcionamiento se desea incluso una combustión incompleta con insuficiencia de aire (relación aire-combustible $\lambda < 1$), como es el caso para un elevado rendimiento de plena carga/potencia o de vaporización incompleta del combustible en caliente.

Para motores Diesel funcionando en caliente y con fines comparativos suele hacerse η_B igual a 1.

Tabla 2. Representación y definición de los rendimientos particulares y total del motor de émbolo alternativo

Diagrama de trabajo	Denominación	Condic. marginales	Definición	Rendimientos
p, p_0, V	Ciclo teórico de comparación a volumen constante	Gas ideal, calor específico constante, velocidad infinita de aportación y cesión de calor, etc.	$\eta_{th} = 1 - \varepsilon^{1-\chi}$ Rendim. teórico o rendim. térmico	η_{th}
p, p_0, V	Ciclo real de trabajo a alta presión	Pérdidas de calor por las paredes, gas real, velocidades finitas de aportación y cesión de calor, calores específicos variables	η_{gHP} Grado de calidad del ciclo a alta presión	η_i η_e
p, p_0, V	Cambio de carga real (4 tiempos)	Pérdidas de caudal, calentamiento de la mezcla o del aire, etc.	η_{gLW} Rendimiento del cambio de carga	η_g
Pérdidas mecánicas	Pérdidas por rozamiento, enfriamiento, aparatos auxiliares	Motro real	η_m	η_m η_m

El rendimiento indicado η_i se da como relación del trabajo indicado de la parte de alta presión al equivalente calorífico del combustible aportado $\eta_i = W_i/W_B$.

El grado de calidad η_g contiene todas las pérdidas internas así como las del ciclo a alta presión y las del ciclo a baja presión, como son: gas de trabajo real, gas residual, pérdidas de calor por las paredes, pérdidas de gas y pérdidas por cambios de carga, por lo que hoy día es mejor subdividir η_g en η_{gHD} para la parte de alta presión y η_{gLW} para el cambio de carga. Por ello el grado de calidad indica con qué exactitud se puede aproximar la calidad al proceso de comparación teórico:

$$\eta_g = \eta_{gHD} \cdot \eta_{gLW} = W_i/W_{th} \text{ siendo}$$

W_i el trabajo indicado y
W_{th} el trabajo teórico del proceso de comparación.

El rendimiento mecánico η_m indica las pérdidas mecánicas, especialmente las pérdidas por rozamiento en el mecanismo de propulsión, y en los dispositivos de regulación del intercambio de gas, en las bombas de aceite, de agua y de combustible, en el alternador, etc., con relación al trabajo indicado.

$$\eta_m = W_e/W_i \text{ siendo}$$

W_e el trabajo efectivo disponible en el embrague y
W_i el trabajo indicado.

Por ello, la cadena de rendimiento se representa como:

$$\eta_e = \eta_B \cdot \eta_{th} \cdot \eta_{gHD} \cdot \eta_{gLW} \cdot \eta_m$$

(Véase la tabla 2).

El motor Otto

Se entiende por motor Otto el de pistones con formación de mezcla homogénea, interior o exterior y encendido externo. La mezcla homogénea de combustible y aire se comprime luego en el tiempo de compresión a unos 20 a 30 bar (ε = 8 a 12). La temperatura final resultante de la compresión, de 400 a 500 °C, queda todavía por debajo de los límites de autoencendido de la mezcla, por lo que poco antes del PMS hay que encendería con una chispa.

La combustión consiguiente y de ella el rendimiento de potencia, dependen esencialmente de la velocidad de inflamación que se pueda conseguir y con ello de la duración de la combustión.

Formación de mezcla

Misión del sistema de formación de mezcla en el motor Otto:

Producción de mezclas de aire y carburante combustibles y homogéneas. Homogéneas sólo lo pueden ser las mezclas de gas o gas-vapor, es decir, todo el carburante debe ser vaporizado antes del encendido. Si no se puede conseguir completamente la vaporización del carburante, por ejemplo en el arranque en frío, porque las temperaturas necesarias para ello son demasiado bajas, hay que añadir tanto más combustible para que la fracción de éste que se vaporiza lleve a una relación aire-combustible que sea combustible (enriquecimiento de la mezcla en el arranque en frío).

Además de la homogeneización de la mezcla, el sistema de formación de la mezcla puede regular también la carga del motor. Puesto que las mezclas homogéneas de aire y combustible sólo se queman del todo en un margen estrecho de λ (0,8 a 1,2), la regulación de la carga debe realizarse por la cantidad de mezcla que entra en el cilindro (regulación cuantitativa), lo cual se consigue por mayor o menor estrangulamiento de la entrada de combustible en el cilindro de trabajo a carga parcial (regulación por reducción de paso). Finalmente, la formación de mezcla debe realizarse de forma que se produzcan variaciones mínimas en la relación aire-combustible, de un cilindro a otro y de un ciclo a otro.

Los motores con carburador y los de inyección pueden realizar esta exigencia con diversas ventajas y muestran en el campo característico del motor comportamientos opuestos. La mariposa de estrangulamiento que se emplea ocasiona en el campo inferior de la carga, en el punto de entrada del equipo de formación de la mezcla del carburador, una distribución desigual del aire y con ello del llenado del cilindro (en la instalación de formación de mezcla monopunto de un carburador o de una instalación de inyección monopunto o central). Sin embargo la presión descendente del tubo de aspiración tiene un efecto positivo en la proporción de carburante y con ello —como indica la figura— en la composición de la mezcla de cilindro a cilindro; es decir que resultan llenados diferentes de los cilindros a relación constante de aire/combustible (coeficiente aire) λ. Al aumentar la carga, es decir, al aumentar la presión en el tubo de aspiración, aumenta la desigualdad del reparto de la mezcla.

En la inyección secuencial en el tubo de aspiración o directa, la variación cuantitativa relativa, de cilindro a cilindro, en la zona inferior de carga resulta más desfavorable. Puesto que simultáneamente en la zona inferior del campo característico el reparto de aire en los distintos cilindros es irregular, se produce una mayor diferencia en la distribución de aire-combustible a los cilindros. Al aumentar la carga y obtenerse con ello una mejor distribución del aire, la variación de λ es menor.

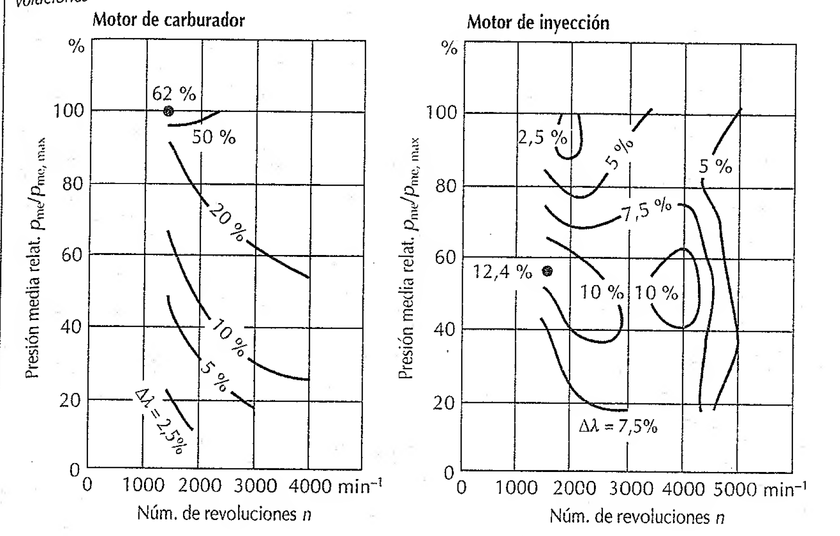
En ambos sistemas de formación de mezcla la relación de aire a vapor de combustible (λ real), en el arranque en frío y durante la fase de marcha en caliente, deben corregirse por enriquecimiento.

Encendido

El sistema de encendido debe estar en situación de inflamar con seguridad en el instante preciso a la mezcla comprimida, incluso en condiciones desfavorables y teniendo en cuenta el movimiento de la mezcla y las variables proporciones de aire/combustible. Disponiendo las bujías en zonas de fácil acceso de la mezcla y con un movimiento ordenado de la mezcla, se puede mejorar la seguridad del encendido, sobre todo en la zona pobre y en el caso de carga parcial extrema. También

Formación de mezcla

Diferencia en la proporción aire-combustible λ de los distintos cilindros con respecto a la carga y el número de revoluciones



puede resultar ventajosa la disposición de las bujías en pequeñas cámaras auxiliares, las llamadas cámaras de encendido.

La energía de encendido necesaria depende de las mezclas aire/combustible empleadas. En las de aire/gasolina, en la zona estequiométrica, se precisa una energía de encendido de 0,2 mJ. Por el contrario, las mezclas pobres y las ricas precisan hasta 3 mJ por encendido.

Proceso de la combustión

La primera reacción térmica que se produce entre el suministro de energía de encendido de la chispa y la reacción exotérmica de la mezcla aire/combustible, la denominada fase de inflamación, es casi constante con el tiempo y sólo depende de la composición de la mezcla. Esto significa un retraso del encendido que aumenta y varía con λ, al aumentar el número de revoluciones del motor y con él el movimiento del pistón.

El transcurso de la liberación de calor viene determinado principalmente por la forma de la cámara de combustión y la posición del punto de encendido; la duración de la combustión la determina principalmente la velocidad de propagación de la llama (velocidad de combustión). La velocidad de combustión, para un exceso de aire de aprox. 10%, o sea λ = 0,9 es máxima y llega a 20 a 40 m/s. Viene determinada por los procesos de difusión en el frente de la llama, así como por la fuerza de la turbulencia y desarrollo de la temperatura en la porción de mezcla (gas final) todavía no quemada.

La fuerza de la turbulencia en la cámara de combustión o en el frente de llama puede ser modificada, entre otras cosas, por la configuración de los órganos de admisión de la mezcla, la forma de la cámara de combustión (por ejemplo, con bordes productores de turbulencia), y el grado de aprovechamiento del movimiento del pistón ("circulación de compresión"). También puede generarse por sí sola aprovechando la propagación de la llama y la elevación de presión relacionada con la misma, y en todo caso depende de parámetros del motor tales como: compresión, temperatura del aire de aspiración y número de revoluciones.

La elevación de presión durante la combustión también es decisiva para la evolución de la temperatura del gas final,

siempre que se puedan despreciar la conductividad y la radiación térmicas.

Resulta favorable para un bajo consumo de combustible y de ello un elevado rendimiento, el tener por un lado un tiempo de combustión corto, o sea, velocidades de combustión elevadas, y por otro lado la posición correcta de la liberación de calor de acuerdo con el movimiento del émbolo. El punto crítico de la liberación de calor debería pues estar situado muy cerca (a unos 5° a 10° del cigüeñal) después del punto muerto superior. Un punto crítico de transformación demasiado avanzado eleva las pérdidas de calor por las paredes y las pérdidas mecánicas (elevada presión de cresta). Una liberación de calor retrasada conduce a una utilización desfavorable del calor (grado de calidad) y elevadas temperaturas de los gases de escape.

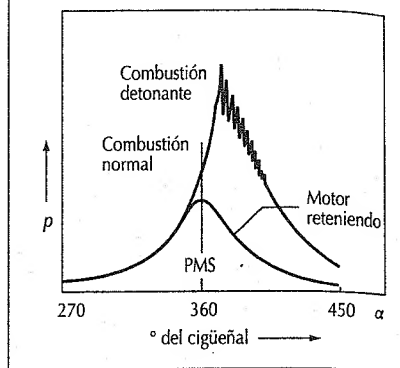
La posición correcta de la liberación de calor debe asegurarse con precisión por medio de la elección del instante del encendido, teniendo en cuenta:
- El estado de la mezcla (λ)
- La dependencia de la turbulencia de los parámetros del motor y
- Los procesos de inflamación que discurren constantes en el tiempo y debido a ello los retrasos en el encendido de diferentes magnitudes.

Problemas y limitaciones del encendido

En la práctica, la seguridad de la inflamabilidad y propagación de la llama impiden empobrecer la mezcla hasta coeficientes de aire $\lambda > 1{,}3$ en motores con formación exterior de mezcla y encendido externo, aun cuando esto sería ventajoso para mejorar el rendimiento teórico (exponente politrópico) el intercambio de gas (menores pérdidas en el estrangulamiento), y disminuir las pérdidas de calor por las paredes y por disociación (disminución de la temperatura de combustión). Se hacen pruebas en este sentido con motores de gasolina-metanol.

El mejorar el rendimiento de la carga parcial con una mayor compresión hace que aparezca un cambio de la combustión con picado a plena carga. Se habla de combustión con picado o combustión detonante cuando las velocidades de la llama son del orden de la velocidad del sonido.

Combustión detonante en comparación con la combustión normal y con motor reteniendo en el diagrama p-α

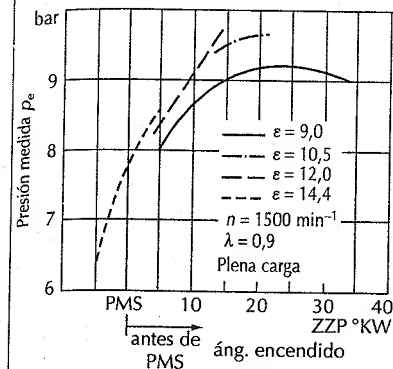


Esto puede presentarse especialmente hacia el final de la combustión, cuando el gas final está ya muy comprimido y a elevada temperatura. En comparación con la combustión normal, en la combustión detonante se producen elevadas crestas de presión que se propagan con la velocidad del sonido en la cámara de combustión y dañan los émbolos, la junta y la culata. La peligrosa combustión detonante puede disminuirse por medio de aditivos al combustible o con una mezcla más grasa (refrigeración interna adicional).

La idea hoy generalmente aceptada de retrasar el instante del encendido para evitar la combustión detonante no está totalmente exenta de problemas, especialmente en motores de alta compresión, ya que la curva característica del encendido (presión media en función del instante del encendido) discurre cada vez con más pendiente al aumentar la compresión, con lo cual además de una pérdida de presión media se alcanzan temperaturas extremadamente elevadas en los gases de escape. Para relaciones de compresión $\varepsilon = 12$ a 13 es necesario el conocimiento seguro y evitar la combustión detonante.

La escasa capacidad de empobrecimiento de la mezcla en el motor Otto condiciona, en amplias zonas del diagrama característico, la regulación de la carga por la masa de aire aspirado. Esto se puede conseguir por estrangulación, es decir, por

Presión media tolerable en el límite detonante en función de la relación de compresión y del ángulo de encendido



la densidad de aire, o por cierre adelantado de la válvula de admisión, o sea, por duración de la admisión. El procedimiento más sencillo técnicamente es el de regulación por estrangulamiento, aunque es el más desfavorable desde el punto de vista de rendimiento.

Rendimiento de la potencia, rentabilidad

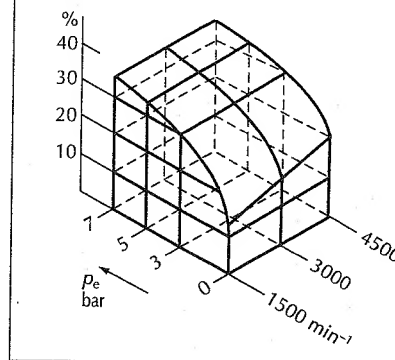
El rendimiento indicado de un motor con formación exterior de mezcla y encendido externo desciende principalmente en la zona inferior del diagrama característico (ver figura). Las causas hay que buscarlas tanto en la calidad de la combustión (turbulencia demasiado pequeña, densidad de carga demasiado pequeña), como en el rendimiento desfavorable del intercambio de gas.

El rendimiento mecánico desfavorable de esa zona del diagrama ocasiona una nueva disminución del rendimiento efectivo.

Todas las medidas que son apropiadas para evitar esa zona inferior del diagrama mejoran por consiguiente el rendimiento general del motor.

Por corte de combustible a un cilindro determinado, los cilindros alimentados tienen más carga, y con ello la calidad de la combustión y el rendimiento del intercambio de gas se mejoran. Inmovilizando además la válvula de intercambio de gas del cilindro sin combustión, se reduce aun más el trabajo de intercambio de gas.

Ciclo del rendimiento indicado de un motor Otto, con regulación por estrangulamiento, con respecto a la carga y al número de revoluciones

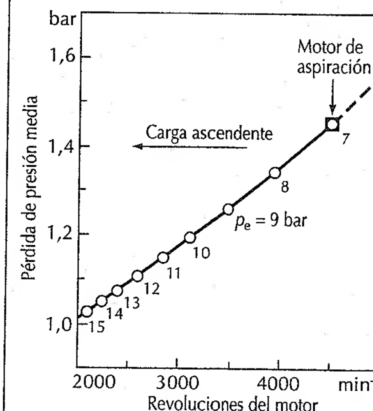


Al separar un cilindro, también se detiene su tracción y se puede mejorar así adicionalmente el rendimiento mecánico.

Mientras que estas medidas no están aún del todo desarrolladas para la fabricación en serie, la reducción del número de revoluciones del motor produce igualmente mejoras de la calidad y del rendimiento del intercambio de gas. Además, se reduce la presión media del rozamiento y se mejora así el rendimiento mecánico.

Pérdidas (rozamiento) y presión media en función de las revoluciones del motor

Motor Otto 5 l, P_e = 130 kW = constante a carga creciente del motor, p_e presión media



El motor diesel

Por motor diesel se entiende el de émbolos alternativos con mezcla de gas interior heterogénea y autoencendido. En el tiempo de compresión se comprime el aire entre 30 y 55 bar con lo que se calienta de 700 a 900 °C. Esta temperatura es suficiente para el autoencendido del combustible inyectado, se alcanza cerca del punto muerto superior del émbolo poco antes del final de la compresión. El ciclo de la combustión subsiguiente, así como la utilización del aire para el combustible aspirado y con ello la presión media alcanzable dependen decisivamente de la formación de la mezcla en los procedimientos heterogéneos.

Formación de la mezcla

En las mezclas heterogéneas la relación aire/combustible λ cubre la zona desde aire puro en la periferia del chorro de inyección ($\lambda = \infty$) hasta el combustible puro en el centro del mismo ($\lambda = 0$).

La figura muestra esquemáticamente la distribución de λ y la zona de llama correspondiente para una gota aislada en reposo. Puesto que esa zona aparece en principio para cada gota del chorro inyectado, resulta posible la regulación de la carga en la formación de mezcla heterogénea por medio de la cantidad de combustible introducida. Se habla de "regulación por calidad".

La combustión, al igual que para las mezclas homogéneas, tiene lugar en el margen relativamente estrecho de $0{,}3 < \lambda < 1{,}5$. El transporte de masas necesario para conseguir estas mezclas combustibles tiene lugar por difusión y turbulencias y se realiza por medio de los portadores de energía de formación de mezcla que se describen a continuación, y también por la propia combustión.

Energía cinética del chorro de combustible

Depende del gradiente de presión en el orificio de la tobera de inyección y determina, junto con la forma de ésta, que fija el cono del chorro y la velocidad consiguiente de la inyección del combustible, el espacio de interacción aire/combustible y la variedad de tamaños de gota en ese espacio.

La energía del chorro viene influenciada por la capacidad de transporte de la bomba de inyección y la sección de paso de la tobera de inyección.

Energía calorífica

La energía calorífica de las paredes de la cámara de combustión y del aire comprimido sirve para vaporizar el combustible inyectado (por un lado en forma de película sobre la pared y por el otro en forma de gotas).

Forma en la cámara de combustión

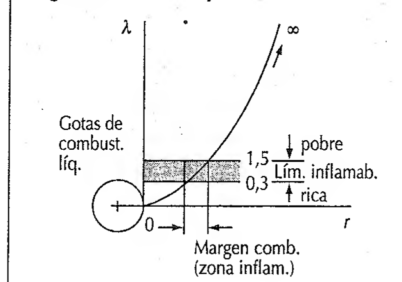
La forma de la cámara de combustión se puede utilizar, dándole la forma apropiada, para que con el movimiento del pistón produzca turbulencia (corriente de compresión).

Movimiento ordenado del aire (espiral)

Movimiento forzado del aire de combustión dentro de la cámara de combustión, mayormente en forma de corriente giratoria que mejora la conducción del aire hacia el chorro de combustible y aleja de él los gases quemados si el sentido del combustible y el de rotación del aire discurren aproximadamente perpendiculares entre sí y preceden a la "vaporización de gotas".

En la vaporización de la película de la pared, el movimiento giratorio del aire cuida de la eliminación de la capa de vapor y la separación térmica del gas de combustión del gas fresco. Las microturbulencias superimpuestas por el movimiento giratorio consiguen la mezcla rápida del combustible con el aire. El movimiento giratorio ordenado del aire se consigue o bien por una forma especial del canal de admisión o por desplazamiento de una parte de la carga del cilindro a una cámara auxiliar simétrica de rotación (por medio de un canal que desemboca tangencialmente).

Evolución de la relación aire-combustible λ en gotas sueltas en reposo



Combustión parcial en una cámara anexa

La combustión parcial del combustible en una cámara anexa produce una elevación de presión en esta cámara con respecto al espacio principal de combustión, con lo que se introducen a presión por uno o más canales de unión los gases parcialmente oxidados y el combustible vaporizado, que se mezclan allí intensamente con el resto del aire de combustión.

La utilización de una o generalmente varias de estas posibilidades de formación de mezcla en una combinación práctica lleva al proceso de combustión diesel.

Procedimientos de inyección directa

Este concepto comprende los procedimientos en los que se prescinde de la subdivisión del espacio de la combustión.

Tanto el procedimiento de inyección por chorro como también el procedimiento de inyección por toberas de orificios múltiples son definidos como procedimientos de distribución del aire.

Procedimiento de inyección por chorro

Se compone de una cámara de combustión ancha de media caña en el émbolo y una tobera de 6 a 8 orificios dispuesta en el centro. Utiliza fundamentalmente la energía del chorro de inyección y trabaja sin circulación giratoria del aire. Este procedimiento se había utilizado hasta ahora casi siempre en los grandes motores diesel lentos que trabajan con gran exceso de aire, pero de forma creciente el procedimiento de inyección por chorro se hace cada vez más interesante para motores sobrealimentados de vehículos industriales, a causa de la legislación cada vez más severa con los gases de escape, los tiempos de inyección cada vez más retrasados para reducir los NO_x y las altas presiones de inyección para reducir la emisión de partículas.

Procedimiento de combustión con toberas de orificios múltiples

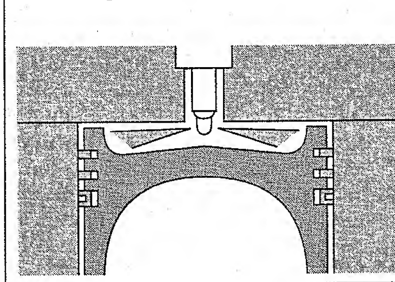
Este procedimiento incorpora una media caña en el émbolo claramente más estrecha, como cámara de combustión y una tobera de 3 a 5 orificios, también dispuesta en el centro. Hoy en día se emplea en los motores diesel de vehículos industriales livianos (motores de aspiración) así como también en motores diesel rápidos de furgonetas y de automóviles.

Para aumentar la intensidad y la velocidad de la formación de la mezcla (formación secundaria de mezcla) así como también mejorar el aprovechamiento del aire, se aprovecha, además de la energía del chorro de inyección, la energía de la corriente del aire de combustión que entra en el cilindro. Esto en la mayoría de las veces sucede en forma de corriente en espiral, producida por los órganos de admisión.

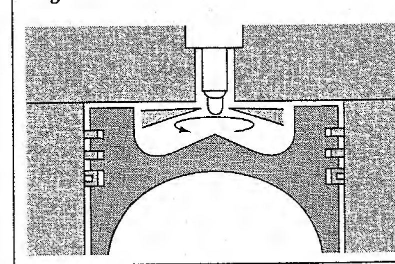
Para esto se escoge la velocidad de rotación del aire de tal modo, que la mezcla aire/combustible que se forma del chorro de inyección y del aire en torbellino durante el tiempo de inyección, llene plenamente el segmento de la cámara de combustión hasta la próxima inyección de la secuencia de combustión.

Si el espacio de la cámara de combustión no queda cubierto totalmente, se reduce el rendimiento del aire y con ello la producción de potencia. Si la mezcla cu-

Forma de la cámara de combustión para el sistema de inyección por chorro sin movimiento de giro del aire



Forma de la cámara de combustión y disposición del inyector para el procedimiento de toberas de orificios múltiples y movimiento de giro del aire



bre más que el espacio entre inyecciones, por la acumulación de combustible y escasez de aire se produce mucha carbonilla.

Procedimiento M

El procedimiento de combustión de la MAN (Procedimiento M), que distribuye preferentemente al combustible en las paredes de la cámara de combustión, utiliza para la formación de la mezcla además de la energía del chorro inyectado, sobre todo el calor de las paredes de la cámara de combustión y la corriente giratoria de aire. Para ello el combustible inyectado se proyecta contra la pared de la cámara por medio de una tobera de un solo orificio dispuesta excéntricamente en una estrecha cámara de combustión de media caña y según el sentido de giro del aire, forma una película que se vaporiza y mezcla intensamente con el torbellino de aire ya existente en la cámara de combustión. El procedimiento aprovecha muy bien el aire, con valores de enturbiamiento (emisión de hollín) bajos del gas de escape.

Procedimientos de combustión en cámara auxiliar

Los procedimientos de combustión en cámara auxiliar son apropiados para motores diesel pequeños rápidos, principalmente para turismos. En este sector se imponen por un lado grandes exigencias a la velocidad de formación de la mezcla y a la utilización del aire (λ "móvil") y por otro, en cuanto al precio, deben evitarse instalaciones de inyección caras para la obtención de elevadas energías del chorro inyectado.

Además de esto, para conseguir un buen llenado del cilindro, se pueden utilizar, no sin problemas en este caso, los canales o lumbreras de admisión que producen movimientos giratorios.

La combustión separada de una mezcla muy grasa en la cámara secundaria y otra relativamente magra en la cámara principal hace que las emisiones de NOx y de CO sean muy reducidas.

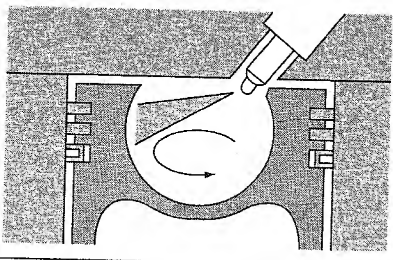
Procedimiento con cámara de turbulencia

Este procedimiento se caracteriza por una cámara auxiliar de forma casi esférica anexa a la cámara de combustión principal, que tiene casi el 50 % del volumen de compresión total. La cámara auxiliar está conectada con la principal por un canal que desemboca tangencialmente orientado hacia el centro del pistón. Incluye también la tobera y la bujía de incandescencia (auxiliar de arranque). En la cámara de turbulencia se produce en el tiempo de compresión una fuerte turbulencia, en la cual el combustible —igual que en el procedimiento M— es inyectado excéntricamente contra la pared de la cámara y en sentido giratorio. La calidad de la combustión viene determinada por aspectos críticos como pueden ser la conformación de la cámara de turbulencia (p.ej. con superficies adicionales de evaporación de la mezcla en el punto de choque del chorro de inyección en la pared de la cámara) así como también la disposición de las toberas y de las bujías de incandescencia. El procedimiento entonces es apropiado para números muy altos de revoluciones (> 5000 min^{-1}), tienen un buen aprovechamiento del aire y una emisión muy baja de partículas.

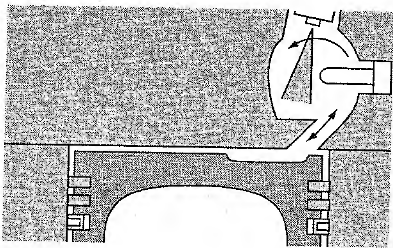
Procedimiento con antecámara

El procedimiento con antecámara se caracteriza por una cámara auxiliar lo más centrada posible con la principal de combustión que ocupa del 25 al 35 % del volumen de la compresión. La antecámara lleva también la tobera de inyección y la bujía de incandescencia (auxiliar de arranque). Está unida con la cámara de combustión principal por varios orificios, para asegurar la más completa absorción posible del aire de la cámara principal por los gases combustibles que salen de la antecámara. Una forma optimizada de la antecámara utiliza además una superficie de choque situada debajo de la tobera ("tetón bola") para la preparación rápida de la mezcla (especialmente formada) y para provocar un movimiento ordenado del aire en la antecámara. Esta corriente de compresión se topa con el chorro de inyección dirigido oblicuamente a ella y origina, junto a la bujía también colocada corriente abajo", una combustión extremamente pobre en contaminantes y una emisión de partículas fuertemente reducida. El procedimiento tiene muy buen aprovechamiento del aire y también es apropiado para revoluciones muy elevadas.

Forma de la cámara de combustión y disposición de la tobera para el procedimiento M, de MAN



Forma de la cámara de combustión y disposición de la tobera para el procedimiento de cámara de turbulencia



Ciclo de la combustión

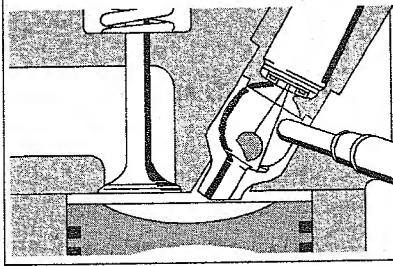
Entre el inicio de la inyección y con ello el inicio de la preparación de la mezcla, y el inicio de la reacción exotérmica (comienzo del encendido) transcurre un tiempo determinado: el retraso del encendido. Éste depende de:

- la facilidad de encendido del carburante (índice de cetano),
- la presión final de compresión (relación de compresión, grado de sobrealimentación),
- la temperatura final de la compresión (relación de compresión, temperatura del componente, refrigeración de la sobrealimentación) y
- del tipo de preparación de la mezcla.

La combustión, que se produce con el inicio del encendido, se dividide en dos fases. En la fase de llama de "mezcla previa" se quema el combustible inyectado hasta el inicio del encendido y que está mezclado con el aire. El combustible inyectado después del inicio del encendido se quema en una "llama de difusión". La rápida fracción de llama de mezcla previa en la combustión total es la causa principal de la elevación de presión, y con ello del ruido de la combustión así como de la cantidad de óxido de nitrógeno. La combustión lenta de la llama de difusión causa sobre todo la formación de carbonilla e hidrocarburos sin quemar.

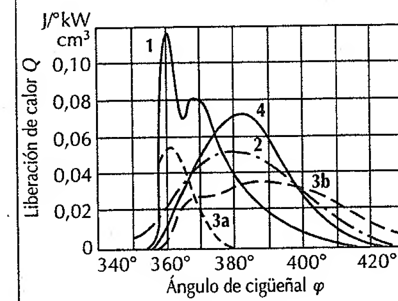
El proceso de liberación de calor de una combustión diesel depende por lo tanto directamente de la clase de formación de la mezcla y se puede modificar entre amplios límites por variación de los parámetros antes mencionados. Pero también depende de la selección del punto de encendido y de la duración del proceso de inyección (diámetro de la tobera), mediante los cuales se puede influenciar fuertemente en la formación de NO_x.

Forma de la cámara de combustión y disposición de la tobera para el procedimiento con antecámara



Procesos de liberación de calor

1 Inyección directa con repartición de aire (motor de aspiración optimizado en su consumo), 2 Inyección directa con distribución en la pared optimizada en cuanto a emisión de ruidos, 3 En el procedimiento con cámara auxiliar (3 a) y en cámara principal (3 b); 4 En inyección de chorro optimizada en sus gases de escape (motores con aire de alimentación refrigerado y con sobrealimentación)



El diagrama muestra el "transcurso de la liberación de calor" para los diferentes procedimientos de inyección. La combustión en dos fases del procedimiento con cámara auxiliar permite además dirigirla mediante la selección de los diámetros de las comunicaciones entre las cámaras auxiliar y principal.

Problemas y limitaciones de la combustión

Como en los motores diesel el combustible inyectado se inflama por autoencendido, el combustible ha de tener una buena inflamabilidad (CN 45 a 50). A pesar de la elevada relación de compresión se pueden presentar problemas de encendido en el arranque —especialmente en el arranque en frío— pues a causa de las pocas revoluciones del motor al ponerlo en marcha, la compresión no empieza hasta después de estar cerradas las válvulas de admisión (o sea, marcadamente después del punto muerto inferior), con lo que la relación de compresión efectiva, y de ésta la temperatura de la compresión, desciende mucho.

Las piezas frías del motor favorecen además la cesión de calor del aire comprimido (exponente politrópico $1{,}1 < n < 1{,}2$). La relación $T_1 = T_0 \cdot \varepsilon^{n-1}$ indica que por disminución de la compresión efectiva o del exponente politrópico, se reduce en la misma proporción la temperatura final de la compresión. Además, a número de revoluciones bajas la preparación del combustible no es satisfactoria (gotas grandes de combustible), y el movimiento del aire es escaso. Obteniendo un tiempo de vaporización más largo (empezando antes la inyección) y con una elevación apreciable de la cantidad de combustible sobre la cantidad a plena carga (aportación de mayor cantidad de combustible de fácil ebullición) se resuelve sólo en parte el problema del arranque, ya que los componentes de más difícil ebullición del combustible del motor se pierden en forma de humo blanco o azul. Por ello son necesarios los medios auxiliares de arranque en forma de bujías de incandescencia o instalaciones de arranque con llama, sobre todo en los motores pequeños.

Puesto que en los procesos heterogéneos una parte importante de la formación de mezcla discurre durante la combustión, se llega en la llama de difusión a sobreengrasamientos locales y con ello, en parte ya con coeficientes medianos de exceso de aire, a una elevación de la emisión de humo negro. La relación aire-combustible que puede utilizarse dentro de los límites de humos impuestos por la ley, es una medida de la calidad de la utilización del aire. Los motores con cámara auxiliar marchan en el límite de emisión de humos con un exceso de aire del 10 al 25 %; los motores diesel de inyección directa con un 40 a 50 %. También hay que tener en cuenta que los motores diesel de gran volumen, por la carga térmica que imponen sus piezas deben funcionar con marcado exceso de aire.

Puesto que en la combustión heterogénea siempre se tiene que formar hollín, no se puede realizar un motor diesel sin producción de hollín.

La emisión de hollín se pudo reducir, en los motores modernos diesel, por debajo del límite visible aumentando la presión de inyección, con el cambio hacia procedimientos optimizados de inyección por chorro con amplia cavidad de combustión y números altos de orificios de tobera, así como con el uso de la sobrealimentación turbo de los gases de escape y la refrigeración del aire de alimentación. A pesar de ello se sigue estudiando la recogida regenerativa y posterior combustión del hollín mediante filtros de quemado de hollín para usos especiales.

Como en los procesos de combustión de autoencendido la parte de combustible, que se vaporiza durante el retraso del encendido y se mezcla con aire, se quema muy rápidamente, puede producirse en los diferentes estados de carga, cuando esta parte es muy alta, una "combustión dura" con consecuencias negativas sobre el ruido del motor. Estos estados de carga pueden ser p.ej.: marcha en ralentí, carga parcial baja en motores sobrealimentados y carga alta en motores rápidos de aspiración.

Esto se puede remediar por reducción del retardo de encendido por precalentamiento del aire de succión, por sobrealimentación o por alta compresión y/o reducción de la alimentación de combustible. La reducción de la alimentación de combustible en la inyección directa normalmente se consigue mediante una inyección previa, mientras que en el procedimiento con cámara auxiliar se obtiene por conformación especial de la tobera (tobera de espiga de estrangulación).

No hay que confundir la combustión dura específica de este procedimiento con el llamado golpeteo diesel o efecto diesel que aparece principalmente en las zonas media y baja del diagrama característico de los motores diesel, por deficiencias del sistema formador de la mezcla, como por ejemplo, inyectores con carbonilla, que son la causa del sonido metálico que se manifiesta a impulsos.

Los siguientes fundamentos son los que condicionan la concepción de un motor diesel de altas presiones punta con su consiguiente efecto sobe la elección del material y su dimensionado:

- la alta compresión necesaria por motivos de arranque y de ruidos,
- el procedimiento de combustión con punto de encendido lo más alto posible por motivos del consumo de combustible y
- la sobrealimentación cada vez más frecuentemente utilizada.

Puesto que los motores diesel además también a carga plena tienen que funcionan con exceso de aire, generalmente tienen densidades de potencia menores que los motores Otto.

Procedimientos híbridos

Los motores híbridos poseen características del motor diesel y del motor Otto.

Carga por capas

En los motores de carga por capas se enriquece la mezcla en la zona de la bujía de incandescencia hasta garantizar su inflamación, pero la combustión en el centro tiene lugar en una mezcla muy pobre. De este modo, se consiguen consumos a carga parcial parecidos a los de los diesel y sobre todo emisiones con bajo contenido de NO_x y CO.

En los procedimientos "abiertos", que poseen la mayoría de las características del tipo diesel (regulación de la calidad, inyección a alta presión, etc.) se busca mediante formación interna de la mezcla (Texaco, TCCS, Ford, PROCO, Ricardo, MAN-FM, KHD-AD) la inflamabilidad en la bujía, mientras que en el resto de la cámara de combustión se va empobreciendo la mezcla hasta llegar al aire puro.

Los procedimientos con formación interna de mezcla están próximos a los motores diesel en lo que concierne a la utilización del aire.

En los procedimientos con cámaras que tienen las propiedades del motor Otto puro (regulación por estrangulamiento, aspiración de la mezcla, etc.), la bujía se instala en una pequeña cámara auxiliar, la cámara de encendido (volumen del 5 al 25 % del volumen de compresión). La cámara de encendido está comunicada con la cámara de combustión principal por uno o más orificios (canales de inyección).

En ello o se inyecta una parte del combustible en la cámara por medio de una válvula de inyección adicional (VW, Porsche, SKS), o bien se aspira una parte de la mezcla aire-combustible por una válvula adicional en la cámara (Honda, CVCC).

Los inconvenientes de este procedimiento son la fabricación cara y la mayor emisión de HC a causa de las bajas temperaturas de los gases de escape y de esto la poca o ninguna reacción posterior en el tramo de escape.

Motores para varios combustibles

Los motores para varios combustibles imponen pocos requisitos, o ninguno a la facilidad de encendido o detonancia del combustible utilizado y pueden trabajar con combustibles de calidades diversas sin perjudicar al motor. Puesto que el combustible puede tener pocas propiedades antidetonantes, existe el peligro en el caso de formación exterior de mezcla, de combustión explosiva o encendido adelantado. Los motores para varios combustibles trabajan por eso exclusivamente con formación interna de mezcla y retardo de la inyección (tipo diesel). La bomba de inyección para el servicio multicombustible está prevista con un canal de engrase circular para el elemento de la bomba a través del que se engrasa la aguja con aceite de motor del engrase a presión centralizado y se evita el paso de combustible al eje de levas de la bomba. Como por otra parte la inflamabilidad de los combustibles no garantiza (o sólo difícilmente garantiza) el autoencendido, los motores para varios combustibles tienen una compresión extre-

mamente elevada (DB, MTU: $\varepsilon = 5:1$) o van provistos de fuentes externas para el encendido en forma de bujías de encendido o de incandescencia (MAN-FM). La relación de compresión de estos motores con encendido externo está entre $\varepsilon = 14$ y 15, o sea, entre la de los motores diesel y Otto.

Una clase especial de iniciación del encendido es el conocido procedimiento del chorro de encendido de los motores de alcohol o de gas (KHD, MWM), en el cual se inyecta directamente en la cámara de combustión un chorro de combustible diesel del 5 al 10 % de la cantidad total que asegure la inflamación. El portador de la energía principal se puede aprovechar así para la formación externa o interna de la mezcla.

Intercambio de gas

En las máquinas de combustión con marcha abierta del proceso y combustión interna se presentan dos trabajos decisivos del intercambio de gas o de carga:

1° El gas de trabajo se lleva al estado inicial del proceso cíclico por intercambio.

2° El oxígeno necesario para la combustión se proporciona en forma de aire fresco.

La valoración del intercambio de gas es posible por medio de las magnitudes fijadas en DIN 1940. Mientras que con el gasto de aire (consumo de aire $\lambda_a = m_g/m_{th}$) se relaciona la carga total utilizada durante un ciclo de trabajo m_g con la carga teórica posible dada por el volumen de la carrera, con el grado de suministro $\lambda_{a1} = m_z/m_{th}$ se contempla únicamente la carga fresca que queda o existe realmente en el cilindro m_z. Ésta se diferencia del gasto total de la carga mg en la fracción que durante la fase de solapamiento circula directamente hacia el escape y por ello no está disponible para la combustión.

El grado de captación

$$\lambda_z = m_z/m_g$$

es una medida de la carga que permanece en el cilindro. El grado de expulsión:

$$\lambda_s = m_z/(m_z + m_r)$$

da la proporción de carga fresca o nueva en relación con la carga total compuesta de carga fresca y fracción de gases residuales m_r. En el m_r indica el resto de gas que queda en el cilindro al final de la expulsión procedente de ciclos de trabajo anteriores.

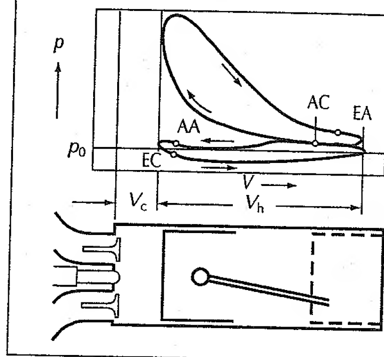
Si el intercambio de gas a cada vuelta del cigüeñal al final de la expansión tiene lugar en la zona del punto muerto inferior, se habla del sistema de dos tiempos. Si se introduce entre cada tiempo de combustión un tiempo de intercambio de gas aparte, compuesto de carrera de expulsión y carrera de admisión, se habla entonces del sistema de cuatro tiempos.

Proceso a cuatro tiempos

Para regular el intercambio de gas en este sistema, existe un eje de regulación, el árbol de levas, que va a mitad de revoluciones que el motor, y que viene accionado por el eje cigüeñal. El árbol de levas, actuando sobre los muelles de las válvulas, abre las distintas válvulas dispuestas independientemente para la expulsión de los gases quemados y la admisión de gases frescos. Poco antes del punto muerto inferior (PMI) se abre la válvula de escape y en condiciones de presión, por encima de las críticas, abandona la cámara de combustión aproximadamente el 50 % de los gases de la combustión en esta expulsión avanzada. El émbolo, en su carrera ascendente, se cuida, durante el tiempo de expulsión, de la salida casi completa de la cámara de los gases de la combustión.

Poco antes de llegar el émbolo al punto muerto superior (PMS) se abre la válvula de admisión estando todavía abierta la válvula de escape. Para diferenciarla del punto de encendido (EPMS) en el que tiene lugar la combustión, se llama a esta posición del

Representación del proceso de intercambio de gas a cuatro tiempos en el diagrama** p-V **con relación al cilindro de trabajo

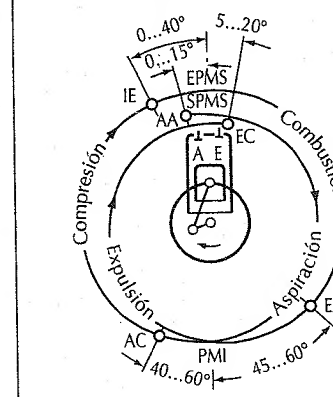


cigüeñal de intercambio de gas (GPMS) o también punto de solapamiento, porque en esa zona se solapan los procesos estrictos de admisión y expulsión. Poco después del GMPS se cierra la válvula de escape y con la válvula de admisión abierta, el pistón en su carrera, ahora descendente, aspira aire fresco. Este segundo tiempo del intercambio de gas, el tiempo de admisión, dura hasta poco después del PMI. Con la compresión y la combustión (expansión) concluyen los dos tiempos restantes del sistema de cuatro tiempos.

Durante la fase de solapamiento, en el motor Otto regulado por estrangulación, sobre todo a carga parcial, y debido a la gran depresión aspirante, circulan los gases de escape directamente de la cámara de combustión al canal de admisión o bien vuelven del canal de escape a la cámara de combustión y luego al canal de admisión. Este retroceso "interno" en los gases de escape actúa desfavorablemente sobre la marcha en vacío. Pero no se puede eliminar totalmente, ya que debe hallarse un compromiso entre el comportamiento satisfactorio en marcha en vacío por un lado y por otro lado tiempos de abertura suficientes de las válvulas a elevado número de revoluciones.

Proceso de intercambio de gas a cuatro tiempos con relación al ángulo del cigüeñal del motor

E Escape, EA Escape abre, EC Escape cierra, A admisión, AA Admis. abre, AC Admis. cierra, PMS punto muerto superior, SPMS Solapamiento PMS, EPMS Encendido PMS, PMI Punto muerto inf., IE Inst. encendido



Con una apertura anticipada de la válvula de escape se consigue un elevado escape inicial y se garantiza así una escasa compresión de gas residual por el émbolo en su carrera ascendente, pero disminuye el trabajo indicado de los gases de la combustión.

El tiempo de regulación de "válvula de admisión cerrada" (AC) influye decisivamente en el ciclo de suministro con el número de revoluciones.

Con el cierre adelantado de la válvula de admisión (AC), el requerimiento máximo de aire se ubica en el intervalo inferior del número de revoluciones; si el cierre de la válvula de admisión (AC) se retarda, en el intervalo superior del número de revoluciones.

Esto hace evidente que los tiempos rígidamente determinados para el trabajo de las válvulas representan siempre un compromiso en cuanto a los máximos de presión media o de par de giro alcanzables, y sus posiciones en la banda útil de revoluciones, y de la potencia obtenible al número nominal de revoluciones. Cuanto mayor es el número nominal de revoluciones de un motor o cuanto más ancha es su banda de revoluciones útiles, menos satisfactorio resulta dicho compromiso. Esta tendencia se agrava por grandes variaciones de la sección de los órganos de cambio de gas sobre la carrera de las válvulas, es decir por disposiciones de válvulas múltiples.

Por otro lado las exigencias sobre mínimos de emisiones de gases de escape y valores mínimos para el consumo de combustible hacen que aumenten de importancia los pares de giro incluso a intervalos de números de revoluciones bajos (a pesar de las potencias superiores obtenidas por motivos del peso reducido de la unidad de propulsión), y los números bajos de revoluciones del ralentí. Esto lleva a tiempos de accionamiento variables (al menos para las válvulas de admisión) que se consiguen con los siguientes tipos de construcción (principalmente en motores Otto de serie de altos números de revoluciones):

Girado del árbol de levas: variación de los tiempos de accionamiento "admisión abre" y "admisión cierra" mediante un giro del árbol de levas de admisión mediante un regulador hidráulico dependiente del núme-

ro de revoluciones del motor (Alfa-Romeo, Mercedes-Benz).

Al ralentí y a un número más alto de revoluciones el árbol de levas se regula a un valor mayor de "admisión cierra". Esto lleva en el punto muerto superior a un menor solapamiento de las válvulas y con ello a un comportamiento estable de ralentí, y a altas revoluciones en cambio a un mejor aprovechamiento de la potencia. En el intervalo de revoluciones bajas a medias a carga plena el girado del árbol de levas en dirección "admisión cierra" adelantada lleva a llenados mayores del cilindro y con ello a pares de giro mayores.

Conmutación del árbol de levas: variación de los tiempos de accionamiento de las válvulas de admisión y de escape mediante conmutación de dos formas diferentes de levas (Honda).

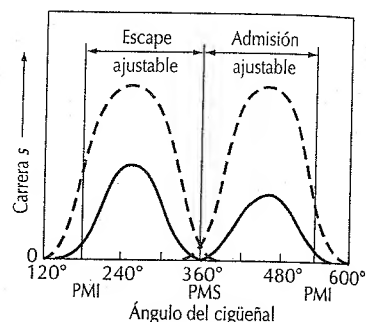
Una primera leva determina los tiempos de accionamiento de las carreras de las válvulas de admisión y de escape óptimos para los intervalos de revoluciones inferiores y medios, mientras que para las revoluciones más altas, y dependiendo de éstas, se conecta una segunda leva con carrera de válvula mayor y más tiempo de apertura mediante el acoplamiento de una palanca de arrastre, hasta entonces oscilante libre, sobre los balancines normales.

Variación sin escalones del tiempo de accionamiento y de la carrera de las válvulas: Variación sin escalones de los tiempos de accionamiento de las válvulas en función del número de revoluciones (Fiat).

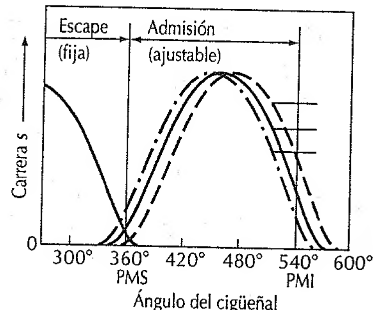
Esta solución óptima (pero la más difícil) con la ayuda de perfiles alabeados de las levas y un árbol de levas desplazable longitudinalmente, proporciona ganancias claras de pares de giro en todo el campo de revoluciones del motor.

Los canales de admisión y de escape pueden ser evaluados mediante ensayos estacionarios basados en el caudal o el rendimiento del canal. Para ello es aconsejable evaluar los canales de escape en el intervalo inferior de la carrera de la válvula según unas condiciones de presión supercríticas, tal como aparecen en el escape adelantado. Los rendimientos usuales para canales de admisión y escape evidencian que la creación de la corriente giratoria del aire para la combustión en el cilindro por la conformación del canal de admisión, significa un empeoramiento drástico del rendimiento del canal y por consiguiente del llenado del cilindro.

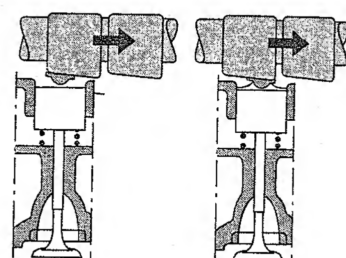
Conmutación del árbol de levas
1 Leva normal, 2 Leva adicional



Girado del árbol de levas de admisión
1 Retardo, 2 Normal, 3 Avance



Variación sin escalones del tiempo de mando y de la carrera de la válvula
(a) Carrera mínima, (b) Carrera máxima



Ventajas del sistema de cuatro tiempos

Muy buen llenado del cilindro en la totalidad del campo de revoluciones, gran insensibilidad contra la pérdida de presión en el sistema del tubo de escape, así como buenas posibilidades de influir en el suministro por elección de los tiempos de regulación adaptados al sistema de aspiración.

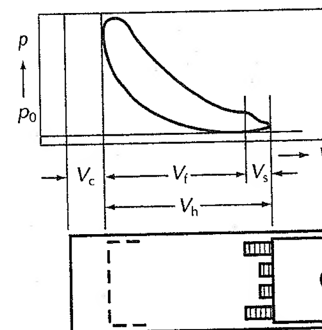
Inconvenientes del sistema de cuatro tiempos

Construcción cara para la regulación de las válvulas. Al utilizarse sólo una de cada dos vueltas del cigüeñal para un ciclo de trabajo disminuye la densidad de potencia.

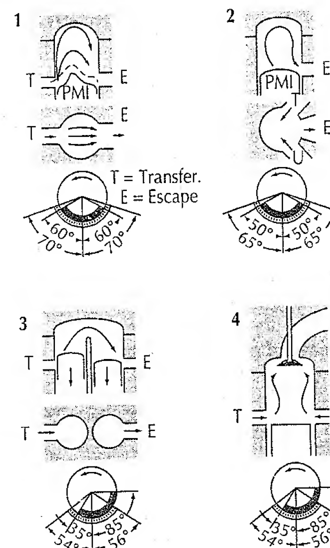
Sistema de dos tiempos

Con el fin de conseguir el intercambio de gas sin otra vuelta adicional del cigüeñal, en el ciclo de dos tiempos se cambian ya los gases al final de la expansión y al inicio de la compresión. Para regular los instantes de la admisión y el escape se emplea casi siempre el pistón, ya que éste pasa por delante, en la zona del punto muerto inferior, de las lumbreras de admisión y escape. Esto obliga a tiempos de regulación simétricos con el problema del barrido de los gases en cortocircuito. Además, del 15 al 25 % de la carrera del émbolo puede no ser útil para realizar trabajo, ya que sólo puede producir trabajo el volumen de llenado V_f y no el de carrera V_h. Puesto que no existen carreras separadas de admisión y de expulsión, el cilindro debe ser llenado o vaciado con sobrepresión. Por ello son necesarias

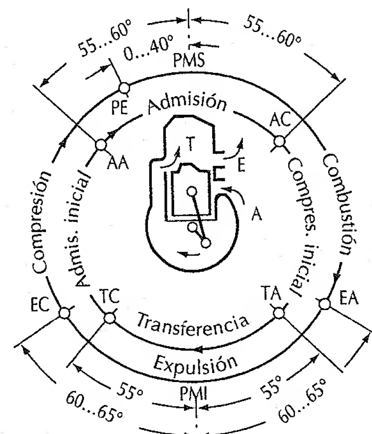
Representación del procedimiento de intercambio de gas a dos tiempos en el diagrama p-V con relación al cilindro de trabajo



Procedimientos de barrido del cilindro invertido
1 Barrido transversal, 2 Barrido invertido, 3 y 4 Barrido en la misma dirección



Procedimiento de intercambio de gas a dos tiempos con relación al ángulo del cigüeñal del motor con compresión incial en el cárter
E Escape, EA Escape abre, EC Escape cierra, A admisión, AA Admis. abre, AC Admis. cierra, T Canal transf., TA Transfer. abierta, TC Transfer. cerrada, PMS punto muerto superior de solapamiento, PMI Punto muerto inf., PE Punto encendido



las bombas de barrido. Un tipo muy sencillo y muy empleado utiliza la parte inferior del émbolo junto con un cárter de volumen mínimo despreciado hacen de bomba de barrido. Las figuras muestran el motor de dos tiempos con cámara de barrido de gases en el cárter del cigüeñal, es decir compresión inicial y sus procesos de regulación técnica. Los procesos que corresponden a la bomba de barrido están representados en el interior del círculo y los que corresponden al cilindro lo están en el exterior del círculo. Para realizar una limpieza suficiente del cilindro son posibles: el barrido transversal, el de inversión y el de corriente en la misma dirección.

Ventajas del procedimiento de dos tiempos
Construcción sencilla del motor, peso reducido, bajos costes de fabricación, diagrama de las fuerzas circulares más favorable.

Inconvenientes del procedimiento de dos tiempos
Mayor consumo de combustible y mayor emisión de HC (barrido problemático del cilindro), presiones medias inferiores (peor llenado del cilindro), elevada carga térmica (falta el tiempo de intercambio de gas), mal comportamiento al ralentí (alta proporción de gas residual).

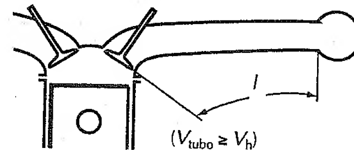
Procedimiento de sobrealimentación

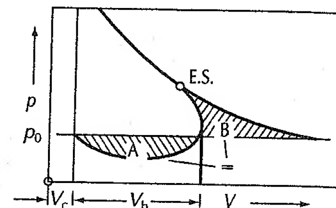
La potencia de un motor es proporcional a la cantidad de aire m_Z, y como ésta a su vez es proporcional a su densidad, la potencia de un motor, para un volumen de carrera y número de revoluciones dados, se puede elevar con una compresión del aire previa a su entrada en el cilindro, es decir, con sobrealimentación.

El grado de sobrealimentación indica la elevación de densidad en comparación con la del motor de aspiración. Depende del sistema de sobrealimentación empleado (relación de compresión practicable), y para una elevación de presión dada, es máxima cuando la temperatura del aire comprimido (aire de sobrealimentación) no se eleva, o bien por medio de refrigeración se enfría de nuevo el aire a su temperatura inicial.

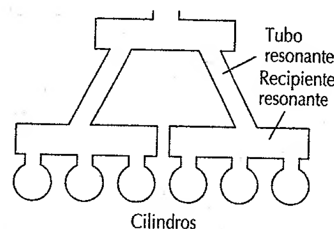
El grado de sobrealimentación viene limitado en el motor Otto por la combustión detonante, y en el motor Diesel por las crestas de presión máximas admisibles. Para evitar estos problemas los motores con sobrealimentación tienen menos compresión que los motores con aspiración.

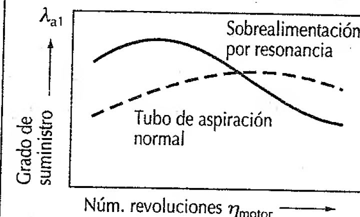
Sobrealimentación con tubo de aspiración oscilante
Dispositivo y balance energético. El trabajo de aspiración A del émbolo ≙ al trabajo de compresión B





Sobrealimentación por resonancia
Dispositivo y ciclo de suministro





Sobrealimentación dinámica
La forma más sencilla de sobrealimentación consiste en la utilización de la dinámica del aire aspirado.

Sobrealimentación por tubo de aspiración oscilante
Cada cilindro tiene un tubo de aspiración aparte, de una determinada longitud, que casi siempre va conectado a un colector general. El balance energético viene entonces caracterizado en el sentido de que el trabajo de aspiración del émbolo se convierte en energía cinética de la columna de gas ante la válvula de admisión y ésta a su vez en trabajo de compresión de la alimentación de aire fresco.

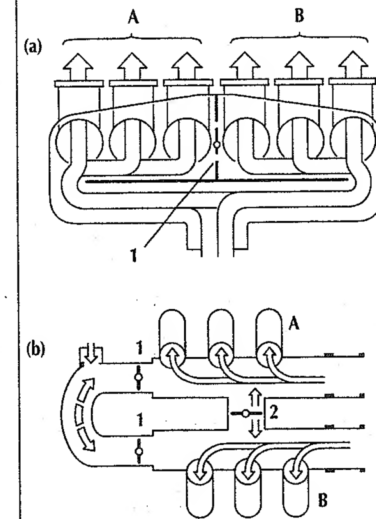
Sobrealimentación por resonancia
En la sobrealimentación por resonancia se conectan grupos de cilindros con los mismos períodos de encendido, por medio de tubos cortos, a un recipiente resonante, que al estar en conexión con la atmósfera o con un recipiente colector a través de tubos de resonancia, actúan como resonadores de Helmholtz.

Sistemas de aspiración conmutables
Ambos sistemas de sobrealimentación dinámica (también combinados) se utilizan por varios fabricantes (BMW, Citroën, Opel, Ford). Incrementan el requerimiento necesario de aire alcanzable especialmente en el intervalo inferior de revoluciones.

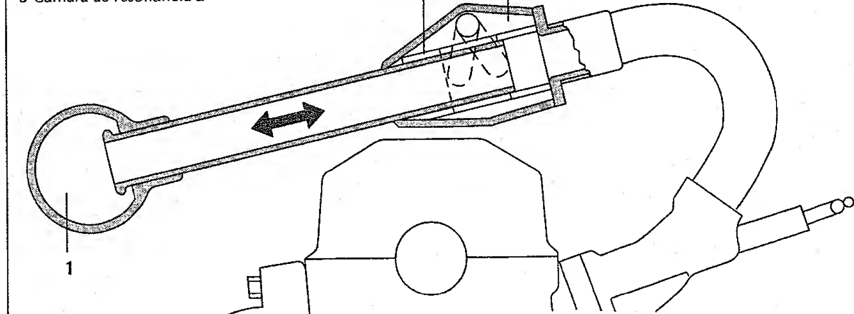
Para la conmutación de los sistemas de aspiración se utilizan p.ej. válvulas que separan o comunican entre sí los sectores de sistemas agrupados por grupos de cilindros.

La longitud regulable del tubo de aspiración trabaja con una primera cámara de resonancia en el rango inferior de revoluciones. El tubo de aspiración finalmente varía su longitud hasta las altas revoluciones, en las cuales se abre una segunda cámara de resonancia.

Sistemas de aspiración conmutables
(a) *Conmutable de dos escalones,* (b) *Conmutable de tres escalones.*
A, B *Grupos de cilindros,* 1, 2 *Válvulas (se abren según las revoluciones)*



Longitud regulable del tubo de aspiración
1 *Cámara de resonancia 1,*
2 *Dispositivo de empuje,*
3 *Cámara de resonancia 2*



Sobrealimentación mecánica

En la sobrealimentación mecánica el sobrealimentador viene accionado directamente por el motor. El motor y el sobrealimentador tienen casi siempre por ello una relación de transformación mutua constante. Se utilizan a menudo acoplamientos mecánicos electromagnéticos para la conexión del sobrealimentador.

La acción mutua del sobrealimentador y el motor se representa con facilidad en el diagrama de flujo presión-volumen, en el que en abscisas se pone el flujo del volumen V y en ordenadas la relación de la compresión π_c correspondiente del sobrealimentador.

En motores de cuatro tiempos sin estrangulación (diesel) el diagrama resulta especialmente comprensible, ya que para un número de revoluciones constante en el motor, con relación de compresión $\pi_c \triangleq p_2/p_1$ creciente, se producen rectas inclinadas para el caudal a través del motor, las denominadas líneas de admisión con caudales de aire crecientes.

En este diagrama se muestran las relaciones de presión que se encuentran para números de revoluciones constantes, ordenados en forma creciente, para un compresor impulsor y un compresor de circulación.

Para los motores de los vehículos sólo resultan apropiados los compresores cuyo caudal varía linealmente con su número de revoluciones, es decir, compresores impulsores del tipo de émbolos, rotatorios o tipo Roots (página 424). Los sobrealimentadores del tipo de circulación o centrífugos no son adecuados.

Ventajas del sobrealimentador mecánico

Aparatos cargadores relativamente sencillos; trabajan bien con el motor frío. No es necesario actuar sobre el sistema de escape de gases del motor.

El sistema de sobrealimentación reacciona sin dilación a las variaciones de carga.

Inconvenientes del sobrealimentador mecánico

La potencia de compresión debe ser extraída de la potencia útil del motor, lo cual eleva el consumo de combustible.

Sobrealimentación por turbina de gases de escape

La energía para el accionamiento del sobrealimentador se extrae de los gases de escape. Con ello se aprovecha por una parte la energía que se pierde en los motores con aspiración debido a las relaciones de expansión fijadas por el accionamiento del cigüeñal, y por otra parte los gases de escape se acumulan más a la salida del motor para conseguir la potencia de compresión necesaria.

La energía del gas de escape se transforma hoy en energía mecánica exclusivamente por medio de la turbina de gases de escape, por lo que se proponen compresores centrífugos para realizar la compresión inicial del gas fresco.

La combinación: turbina de gases de escape y compresor centrífugo se llama turbocompresor de gases de escape (página 426).

Diagrama característico presión-caudal volumétrico de sobrealimentadores impulsores y de circulación o centrífugos accionados mecánicamente
VL Sobrealimentador; SL sobrealiment. centrífugo

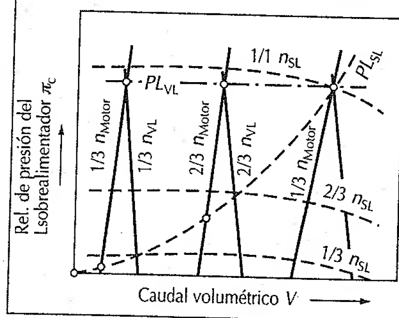
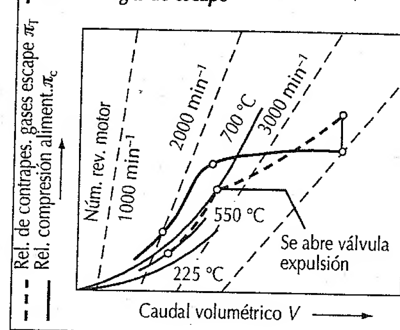


Diagrama característico presión-caudal volumétrico de turbocompresor de gases de escape con el ciclo de la presión de alimentación y contrapresión del gas de escape



Ventajas del turbocompresor de gases de escape

Notable elevación de la potencia instalada y por volumen de embolada: mejor evolución del par motor en el intervalo normal de utilización del número de revoluciones; notable mejora del consumo de combustible en comparación con los motores de aspiración de igual potencia; mejora de los índices de emisión de los gases del escape.

Inconvenientes del turbocompresor de gases de escape

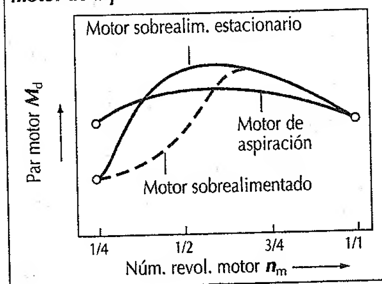
Montaje del turbocompresor en la zona de los gases de escape calientes, lo que obliga a utilizar materiales muy refractarios; montaje caro y voluminoso necesario para el alimentador y el radiador de aire del alimentador; par motor básico bajo a pocas revoluciones del motor; el comportamiento de toma de carga depende de la bondad de la adaptación del sobrealimentador.

Sobrealimentación por ondas de presión

Se consigue un intercambio energético directo entre el gas de escape y el aire aspirado, con el propósito de elevar su presión, por medio del sobrealimentador de ondas de presión. Para ello se aprovechan las diferentes velocidades de las partículas de gas y las ondas de presión por una parte y por la otra las propiedades de reflexión de estas ondas de presión por el otro (página 428).

El sobrealimentador por ondas de presión se compone de un rotor de paletas con cuerpos de aire y de gas de escape dispuestos en ambas caras frontales con determinadas aristas de regulación y disposiciones de cavidades de regulación.

Evolución del par motor estacionario y no estacionario para motores con turbocompresor de gases de escape en comparación con el motor de aspiración



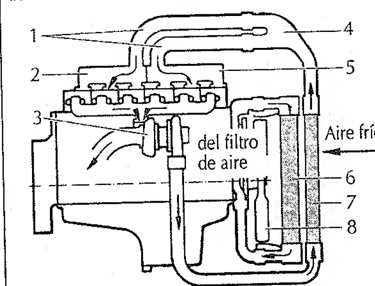
Ventajas de la sobrealimentación por ondas de presión

Toma rápida en los cambios de alimentación, ya que el intercambio de energía entre los gases de escape y el aire de alimentación se realiza a la velocidad del sonido; elevada compresión a números de revoluciones del motor bajos.

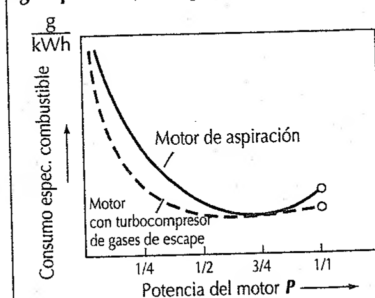
Inconvenientes de la sobrealimentación por ondas de presión

Limitada flexibilidad en el montaje provocada por el accionamiento por correa y la conducción del gas; cantidades aumentadas de gas de escape y de aire de barrido; alta sensibilidad contra elevaciones de resistencia en el lado de baja presión.

Motor de camión con turbocompresor de gases de escape, con alimentación por resonancia y refrigeración por aire
1 *Tubos de resonancia,* **2** *Recipiente de resonancia para los cilindros 4-5-6,* **3** *Grupo sobrealimentador,* **4** *Recipiente equilibrador,* **5** *Recipiente de resonancia para los cilindros 1-2-3,* **6** *Radiador de agua,* **7** *Radiador de aire de la alimentación,* **8** *Ventilador*



Consumo específico de combustible de motores de aspiración y de sobrealimentación de igual potencia, a carga parcial



Accionamiento del motor alternativo (de émbolos)

Formas

Unidad de trabajo: un émbolo
El espacio de trabajo está formado por la culata, la camisa del cilindro y el émbolo.

Motor en línea (1)
Los cilindros van uno tras otro, en línea.

Motor en V (2)
Disposición de los cilindros en dos planos en forma de V.

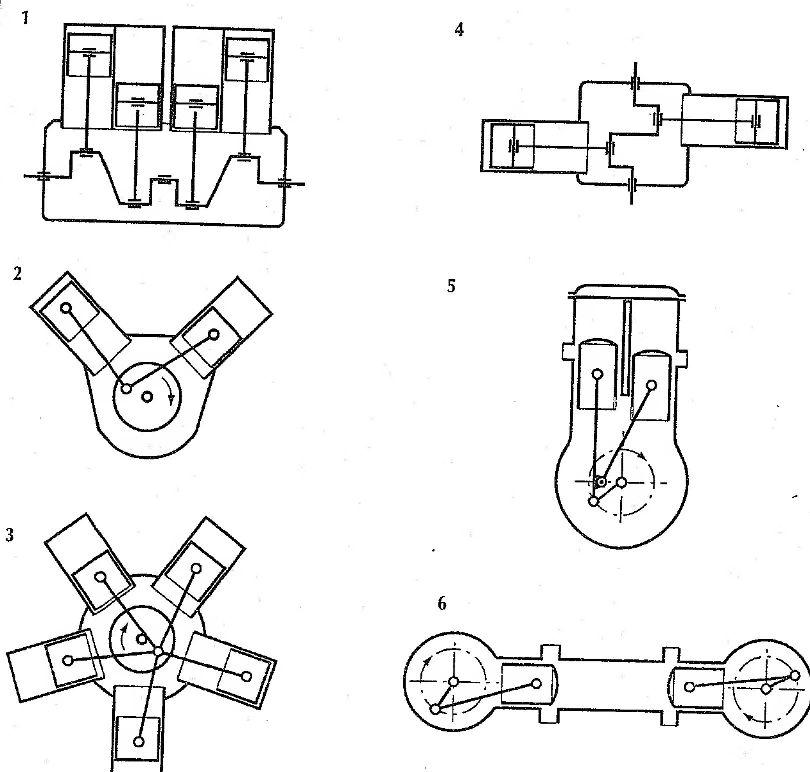
Motor en estrella (3)
Los cilindros están dispuestos en forma de estrella en uno o varios planos.

Motor de cilindros opuestos (4)
Los cilindros están uno frente al otro.

Unidad de trabajo: varios émbolos
A una misma cámara de combustión común pertenecen varios émbolos de trabajo (generalmente dos).

Motor en U (5)
Los émbolos se mueven en la misma dirección.

Motores de émbolos opuestos (6)
Los émbolos se mueven en sentido opuesto.



Formas de los motores alternativos (de embolos)

Sentido de giro

(DIN 73021)(1)

Giro a la derecha: En el sentido de las agujas del reloj, visto desde el lado contrario de la salida de la fuerza. En inglés: clockwise (cw).

Giro a la izquierda: En sentido contrario a las agujas del reloj, visto desde el lado contrario de la salida de fuerza. En inglés: counter–clockwise (ccw).

Sentido de numeración de los cilindros

(DIN 73 021)(1)

Los cilindros se denominan sucesivamente 1, 2, 3, etc., tal como se encuentran en un plano imaginario de referencia, empezando por el que mirando por el lado contrario a la salida de fuerza, queda a la izquierda y se mueve alrededor del eje del motor en el sentido de las agujas del reloj (ver las figuras de abajo). Si hay varios cilindros en un plano de referencia, el cilindro que está más cerca del observador recibe el número 1 y los cilindros más alejados, los números siguientes. El cilindro 1 se caracteriza por medio del número 1.

Orden de encendido

El orden de encendido es el de la sucesión a que se encienden los cilindros uno tras otro. Viene determinado por el tipo de motor, igualdad de intervalos de encendido, facilidad de construcción del cigüeñal, solicitaciones favorables del cigüeñal, etc.

Forma	Número de cilindros	Orden encendido corriente (ejemplos)
1 2 3 4 5 6 Salida de fuerza	4 5 6 8	1 3 4 2 o 1 2 4 3 1 2 4 5 3 1 5 3 6 2 4 o 1 2 4 6 5 3 o 1 4 2 6 3 5 o 1 4 5 6 3 2 1 6 2 5 8 3 7 4 o 1 3 6 8 4 2 7 5 o 1 4 7 3 8 5 2 6 o 1 3 2 5 8 6 7 4
1 2 3 4 5 6 7 8 Salida de fuerza	4 6 8	1 3 2 4 1 2 5 6 4 3 o 1 4 5 6 2 3 1 6 3 5 4 7 2 8 o 1 5 4 8 6 3 7 2 o 1 8 3 6 4 5 2 7
1 2 3 4 Salida de fuerza	4	1 4 3 2

(1) Sólo válida para motores de vehículos. Para los motores de combustión de uso general y para los motores de barco está normalizado el sentido contrario (visto desde el lado de la salida de fuerza) (ISO 1204 y 1205, DIN 6265).

Función y dinámica del accionamiento

El mecanismo de accionamiento del motor alternativo de émbolos sirve para que la fuerza que produce la combustión en los cilindros se transforme en un movimiento rectilíneo de empuje de los émbolos y éste a su vez, mediante un mecanismo de biela y cigüeñal, en un par de giro útil en el lado de salida del motor. Así, por el trabajo cíclico no uniforme de la fuerza del gas y las aceleraciones y desaceleraciones alternativas de las piezas con movimiento alternativo aparecen fuerzas de inercia. Es corriente distinguir entre acciones internas y externas de las fuerzas del gas y de inercia.

Las acciones externas, consistentes en fuerzas libres o momentos, producen movimientos en el motor que se transmiten a la estructura portante en forma de vibraciones.

Por funcionamiento suave de un motor se entiende en este contexto la ausencia de vibraciones de baja frecuencia, y por funcionamiento silencioso, la ausencia de vibraciones audibles de alta frecuencia.

Las fuerzas internas provocan cargas periódicas alternas en el cárter, piezas del accionamiento y las de transmisión de la fuerza, que deben tenerse en cuenta en relación con sus dimensiones y durabilidad.

Mecanismo cigüeñal y fuerza del gas

El cigüeñal de la transmisión de un cilindro consta de émbolo, biela y eje cigüeñal. Sobre estas piezas actúa por una parte la fuerza del gas y por la otra generan a su vez fuerzas de inercia.

La fuerza que ejerce el gas sobre el émbolo, F_G, se descompone en una fuerza lateral F_N contra la pared del cilindro, y otra F_S en la dirección de la biela, que se transmite al codo del cigüeñal y se descompone a su vez en una fuerza que actúa tangencialmente F_T, que junto con el radio del cigüeñal da el par de giro del árbol, y una fuerza radial F_R.

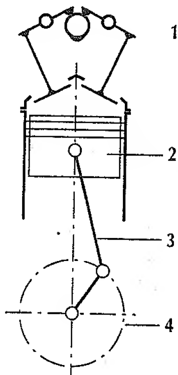
Con el ángulo de cigüeñal α, el ángulo de inclinación de la biela β y la relación de radio de cigüeñal a longitud de biela λ, se calculan estas fuerzas en función de la fuerza del gas tal como sigue:

Fuerza en la biela: $F_S = F_G/\cos\beta$
Fuerza lateral émbolo: $F_N = F_G \cdot \tan\beta$
Fuerza radial: $F_R = F_G \cdot \cos(\alpha+\beta)/\cos\alpha$
Fuerza tang.: $F_T = F_G \cdot \text{sen}(\alpha+\beta)/\cos\alpha$
con $\lambda = r/l$; sen $\beta = \lambda \cdot$ sen α;

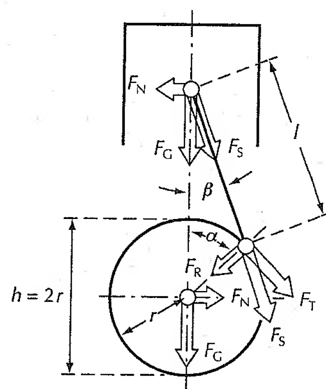
$$\cos\beta = \sqrt{1-\lambda^2 \cdot \text{sen}^2\alpha}$$

Todas estas relaciones se pueden representar también como series de Fourier, lo cual resulta ventajoso para el cálculo de vibraciones.

Mecanismo de accionamiento del motor alternativo (Principio)
1 *Accionamiento de las válvulas,* 2 *Émbolo,* 3 *Biela,* 4 *Cigüeñal*



Descomposicición de la fuerza del gas en el cigüeñal simple



Fuerzas y momentos de inercia

Las acciones de las masas del mecanismo de accionamiento se componen de las fuerzas de las masas en rotación, del cigüeñal alrededor de su eje (denominado casi siempre eje de las x), y las de las masas que van y vienen en dirección del cilindro (en el motor en línea, eje de las z). En los motores de varios cilindros aparecen además momentos de inercia libres a causa de los diferentes puntos de aplicación de las fuerzas del gas y de las masas.
Las acciones de las masas del mecanismo de acción de 1 cilindro se determinan como sigue, con la masa del émbolo m_k (masa puramente oscilante), la masa del cigüeñal m_w (masa puramente rotatoria) y las piezas que corresponden a la biela (hoy en día se considera corrientemente que 1/3 de la masa de la biela es oscilante, y 2/3 rotatoria):

Masa oscilante:

$$m_o = m_{Pl}/3 + m_k$$

Masa rotatoria:

$$m_r = 2\ m_{Pl}/3 + m_w$$

Fuerza de las masas que actúan en el cigüeñal:

$$F_r = m_r \cdot r \cdot \omega^2$$

Fuerza de las masas oscilantes:

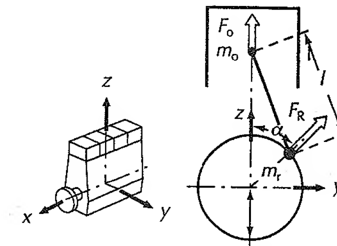
$$F_o = m_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos\alpha + \lambda \cdot \cos 2\alpha + \ldots)$$

1er orden 2° orden

Además se acepta que:

$$F_y = r \cdot \omega^2 \cdot m_r \cdot \text{sen}\ \alpha$$

Coordenadas de referencia y fuerzas de las masas
(Accionamiento de 1 cilindro)



$$Fz = r \cdot \omega^2 \cdot [m_r \cdot \cos\alpha + m_o \cdot (\cos\alpha + \lambda \cdot \cos 2\alpha)]$$

siendo:

$\lambda = r/l$;

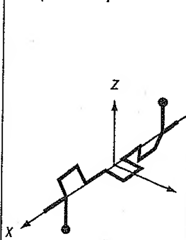
Las participaciones de las fuerzas de las masas se denominan según su frecuencia de inversión en comparación con el número de revoluciones del motor, fuerzas de 1°, 2°, 4° ... orden.

Por lo general sólo tienen importancia las participaciones de 1° y 2° orden; las de orden superior pueden despreciarse.

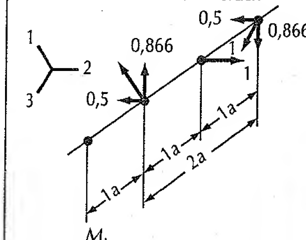
En los motores de varios cilindros existen pues momentos de inercia libres, cuando todas las fuerzas de las masas del conjunto del mecanismo de acción generan en el cigüeñal un par de fuerzas. Para la determinación de los momentos de inercia libres es pues necesario el estudio tridimensional de la disposición del cigüeñal, mientras que las fuerzas de las masas se pueden determinar en un sistema plano.

Momentos de inercia de un cigüeñal de 3 codos *(ejemplo)*

Disposición práctica



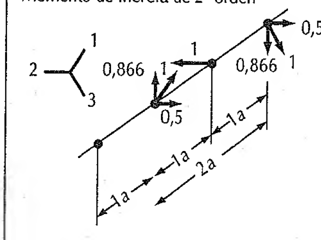
Momento de inercia de 1er orden



$$\frac{M_1}{(m_r + m_o) \cdot r \cdot \omega^2 \cdot a} = 1{,}732$$

M 0,866 (–1 + 3) = 1,732
M = 0,5 · 1 – 1 · 2 + 0,5 · 3 = 0

Momento de inercia de 2° orden



$$\frac{M_2}{m_o \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot a} = 1{,}732$$

$$A_2 = \lambda + \frac{1}{4} \cdot \lambda^3 + \frac{15}{128} \cdot \lambda^5$$

Diagramas de fuerzas de rotación de un motor de cuatro tiempos de un cilindro
1 Fuerzas del gas y de las masas, 2 Fuerzas del gas, 3 Fuerzas de las masas

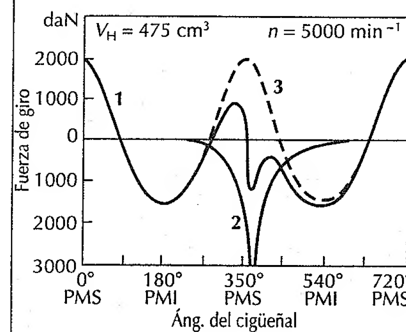


Diagrama de esfuerzos de rotación del motor alternativo de émbolos
Si se compone la fuerza periódica variable del gas que actúa sobre el émbolo con las acciones periódicas de las masas del mecanismo de accionamiento, se obtiene una componente de suma tangencial de las fuerzas actuantes que multiplicada por el radio del cigüeñal da un par de giro que varía periódicamente. Si este par de giro se aplica a la superficie del émbolo y el radio del cigüeñal, se obtiene así un valor independiente del tamaño del motor, la presión tangencial. El diagrama de la presión tangencial muestra el desarrollo del valor de esta presión respecto a la posición del cigüeñal. Es una de las curvas características más importantes para la estimación del comportamiento dinámico de los motores.

En los motores de varios cilindros los ciclos de las presiones tangenciales de cada cilindro particular se sobreponen unos a otros con desplazamientos de fase según el número de cilindros, su disposición, la del cigüeñal y el orden de encendido. El ciclo suma es característico para el tipo de motor dado y comprende todo un tiempo de trabajo (en los motores de 4 tiempos es de 2 vueltas completas del cigüeñal). Se llama también diagrama de esfuerzos de rotación.

Por medio del análisis armónico, el diagrama de esfuerzos de rotación se puede substituir por una serie de oscilaciones sinusoidales con múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, que dan los "armónicos del esfuerzo de rotación". Referidos al número de revoluciones del motor, también son llamados estos múltiplos, órdenes. En el motor de cuatro tiempos también existen semiórdenes, por ejemplo el orden 0,5.

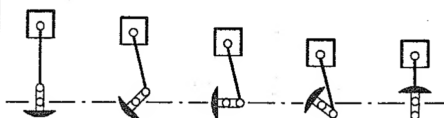
En cada caso, el esfuerzo de rotación variable de los motores alternativos de émbolos durante un ciclo de trabajo, produce una velocidad de giro desigual en el extremo del cigüeñal, el llamado grado de discontinuidad

$$\delta_s = (\omega_{max} - \omega_{min})/\omega_{min}$$

el cual debe ser reducido a un valor adecuado para su utilización por medio de un acumulador de energía (volante de inercia).

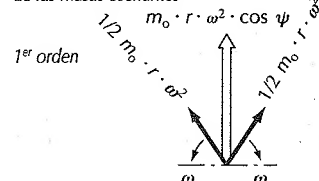
Compensación de masas perfecta de 1° y 2° orden en el accionamiento vertical

Contrapesos

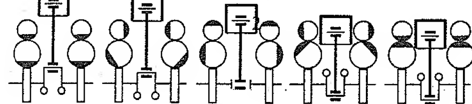


Representación vectorial de las fuerzas de las masas oscilantes

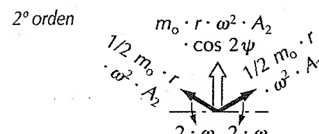
1er orden



Sistema desequilibrado en rotación opuesta



2º orden



Equilibrado de masas del motor alternativo de émbolos

Se denomina equilibrado de masas a todas las medidas para igualar total o parcialmente las fuerzas y los momentos de las masas de accionamiento del cigüeñal. Si no se presentan en el conjunto del motor fuerzas y momentos libres exteriores, se dice que el equilibrado de masas exteriores es completo. Pero dentro de la estructura del motor todavía pueden producirse fuerzas y momentos, que cargan los cojinetes y el bloque y que son causa de deformaciones y vibraciones. En la tabla 3 se indican las cargas fundamentales por las fuerzas del gas y de las masas.

Equilibrado de las fuerzas de las masas del mecanismo de accionamiento
Lo más fácil es equilibrar la fuerza centrífuga de las masas rotatorias mediante contrapesos que ejerzan una fuerza igual y contraria. Las masas oscilantes originan fuerzas variables periódicas, que en el 1er orden transcurren con el número de revoluciones del cigüeñal y en el 2° orden con el doble del número de revoluciones en el cigüeñal. El equilibrado se consigue me-

Tabla 3. Solicitación en el mecanismo de accionamiento por fuerzas y momentos

Fuerzas y momentos en el motor				
Denominación	Momento de giro alternativo Momento basculación transv. Momento de giro inverso	Fuerza de inercia libre	Momento de inercia libre Momento basculación long. alrededor eje "y" (transv.) ("momento galopante") alrededor eje "z" (vert.) ("momento de balanceo)	Momento de flexión interno
Causas	Fuerzas tang. del gas así como fuerzas tang. de la inercia 1, 2, 3 y 4 orden	Fuerzas oscilantes de inercia no equilibradas como par de fuerzas de 1er orden en los cilindros 1 y 2; de 2° orden en los cilindros 1-2 y 4	Fuerzas de inercia oscilantes no equilibradas como parr de fuerzas de 1° y 2° orden	Fuerzas de inercia rotatorias y oscilantes
Magnitudes influyentes	Núm. cilindros, período encendido, volum. pistonada, p_i, E, p_z, m_o, r, ω, λ	Núm. de cilindros, estrella cigüeñal, m_o, r, ω, λ	Núm. de cilindros, estrella cigüeñal, distancias entre cilindros, la magnitud del contrapeso influye en la participación del momento de inercia alrededor del eje "y" y eje "x" m_o, r, ω, λ, a	Núm. de codos del cigüeñal, long. del motor, rigidez del bloque
Remedios	Sólo se puede influir en casos excepcionales	Se pueden eliminar los efectos de las masasl libres por sistemas de equilibrado rotatorios, pero es caro y, por ello, raro; se da preferencia a formas de cigüeñales con efectos de masa nulos o escasos		Contrapesos, bloques motor robustos
	Aislamiento del motor del resto del vehículos montándolo con elásticos (especialmente de orden ≥ 2)			

Tabla 4. Fuerzas de inercia remanentes de 1er orden para diferentes grados de equilibrio

(z, y)	Grado de equilibrio 0%	50%	100%
Tamaño del contrapeso $m_G \triangleq$	m_r	$m_r + 0{,}5\,m_0$	$m_r + m_0$
Fuerza de inercia remanente (z) de 1er orden $F_{1z} =$	$m_0 \cdot r \cdot \omega^2$	$0{,}5 \cdot m_0 \cdot r \cdot \omega^2$	0
Fuerza de inercia remanente (y) de 1er orden $F_{1y} =$	0	$0{,}5 \cdot m_0 \cdot r \cdot \omega^2$	$m_0 \cdot r \cdot \omega^2$

diante sistemas rotatorios desequilibrados que giran a igual y doble número de revoluciones del cigüeñal. Esas fuerzas compensadoras han de tener además los mismos momentos de inercia que las fuerzas que compensan y ser de sentido contrario.

Grado de equilibrio

Los contrapesos necesarios para equilibrar las masas en rotación pueden aumentarse en una cantidad determinada de la masa oscilante de manera que la fuerza oscilante que actúa en la dirección z del cilindro quede anulada. Por ello aparece este importe de la fuerza de inercia en el eje y. La proporción de la parte anulada en dirección del eje z, con respecto al valor original de la fuerza de inercia de 1er orden se denomina grado de equilibrio (tabla 4).

Tabla 5. Estrellas de cigüeñal de 1º y 2º orden para motores en línea de tres a seis cilindros

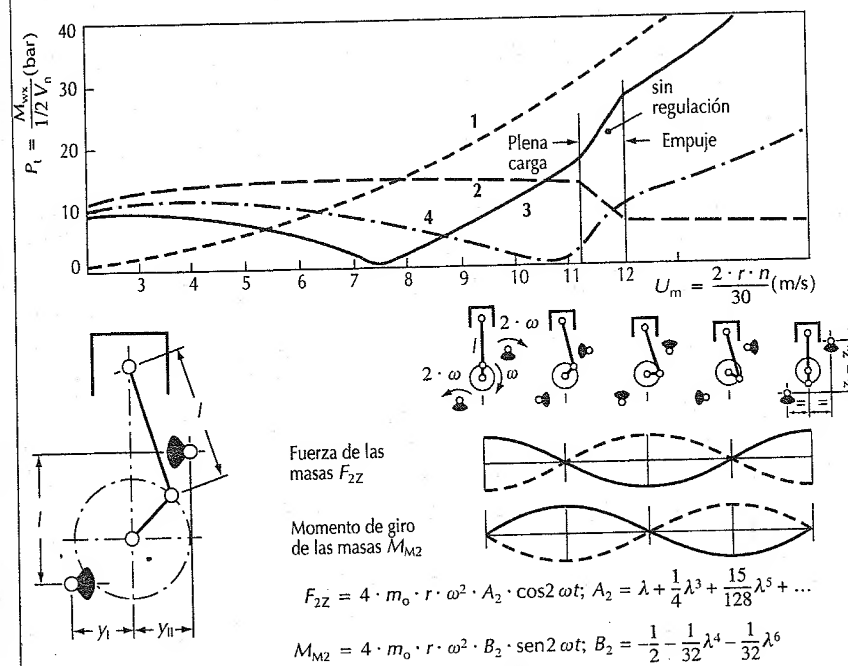
	3 cilindros	4 cilindros	5 cilindros	6 cilindros
Cigüeñal				
Estrella del cigüeñal 1er. orden	1, 2, 3	1,4; 2,3	1, 4, 5, 3, 2	1,6; 3,4; 2,5
Estrella del cigüeñal 2º. orden	1, 3, 2	1,2,3,4	1, 2, 3, 4, 5	1,6; 2,5; 3,4

Equilibrado de fuerzas de masas del motor de varios cilindros

En los motores de varios cilindros, el equilibrado de las fuerzas de las masas del mecanismo de accionamiento por cigüeñal es una cuestión importante para la elección de la disposición del cigüeñal (ordenamiento de los codos) y con ello para la forma de los motores. El equilibrado de las fuerzas de las masas existe cuando el centro de gravedad común de todas las piezas en movimiento del accionamiento queda situado en el centro del cigüeñal, es decir, cuando mirando frontalmente el cigüeñal se ve simétrico. Esto se comprueba con las denominadas estrellas de cigüeñal de 1° y 2° orden. Para el motor en línea de cuatro cilindros no existe simetría en la estrella de 2° orden. Por eso existen grandes fuerzas de inercia para este orden. Se puede realizar su equilibrado por medio de dos ejes equilibrados que giran en sentido contrario y a doble número de revoluciones que el cigüeñal (equilibrado Lanchester).

Equilibrado de las fuerzas de las masas y del gas

Las fuerzas tangenciales del gas producen además un par de giro periódico, que se puede determinar como par de reacción del bloque del motor. En el motor en línea de cuatro cilindros se producen en conjunto fuerzas de inercia de 2° orden y pares de giro alternantes, procedentes de las fuerzas tangenciales de las masas y del gas de 2° orden. En este caso se puede conseguir un equilibrado de masas de 2° orden y una disminución de los momentos alternativos de 2° orden, con una disposición traspuesta de dos ejes de equilibrado.



Equilibrado de la fuerza de las masas y momentos de giro alternativo de 2° orden en el motor en línea de cuatro cilindros por medio de dos ejes de equilibrado desplazados
1 Sólo momento de giro de las masas; 2 Sólo momento de giro del gas o completo equilibrado del momento de giro de las masas, $z_I - z_{II} = -2B_2/A_2 \cdot r$; 3 Momento del giro del gas y de las masas sin equilibrado de momentos; 4 Momento del giro del gas y de las masas con equilibrado de la mitad del momento de giro de las masas, $z_I - z_{II} \approx 0{,}5 \cdot l$

Tabla 6. Fuerzas y momentos libres de 1º y 2º orden, así como instantes del encendido de los tipos de motores más frecuentes

$F_r = m_r \cdot r \cdot \omega^2$ $F_1 = m_0 \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha$ $F_2 = m_0 \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos 2\alpha$

Disposición de los cilindros	Fuerzas libres 1er orden (1)	Fuerzas libres 2° orden	Momentos libres 1er orden(1)	Momentos libres 2° orden	Instante encendido
3 cilindros					
En línea,3 codos	0	0	$\sqrt{3} \cdot F_1 \cdot a$	$\sqrt{3} \cdot F_2 \cdot a$	240°/240°
4 cilindros					
En línea, 4 codos	0	$4 . F_2$	0	0	180°/180°
Opuestos, 4 codos	0	0	0	$2 . F_2 . b$	180°/180°
5 cilindros					
En línea, 5 codos	0	0	$0{,}449 \cdot F_1 \cdot a$	$4{,}98 \cdot F_2 \cdot a$	144°/144°
6 cilindros					
En línea, 6 codos	0	0	0	0	120°/120°

(1) Sin contrapesos

Disposición de los cilindros	Fuerzas libres 1er orden (1)	Fuerzas libres 2° orden	Momentos libres 1er orden(1)	Momentos libres 2° orden	Instante encendido
6 cilindros (continuación)					
V de 90°, 3 codos	0	0	$\sqrt{3} \cdot F_1 \cdot a$ (2)	$\sqrt{3} \cdot F_2 \cdot a$	150°/90° 150°/90°
Equilibrado normal V de 90°, 3 codos, muñequilla a 30°	0	0	$0{,}4483 \cdot F_1 \cdot a$	$(0{,}966 \pm 0{,}256) \cdot \sqrt{3} \cdot F_2 \cdot a$	120°/120°
Opuestos, 6 codos	0	0	0	0	120°/120°
V de 60°, 6 codos	0	0	$3 . F_1 . a/2$	$3 . F_2 . a/2$	120°/120°
8 cilindros					
V de 90°, 4 codos en dos planos	0	0	$\sqrt{10} \cdot F_1 \cdot a$ (2)	0	90°/90°
12 cilindros					
V 60°, 6 codos	0	0	0	0	60°/60°

(1) Sin contrapesos.
(2) Compensables del todo mediante contrapesos.

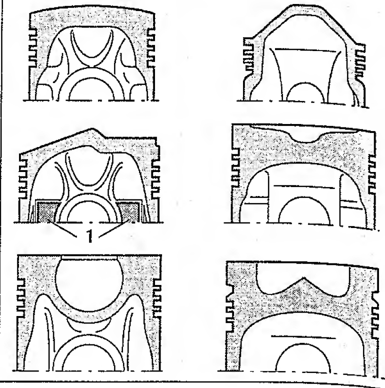
Partes principales del motor alternativo de émbolos

Embolo

En los motores de los vehículos actuales, el émbolo debe cumplir varios cometidos:
- Transmitir las fuerzas de los gases de la combustión a la biela.
- Como cruceta, guiar a la biela recta dentro del cilindro.
- Sostener contra la camisa del cilindro la fuerza normal que aparece al convertirse la presión axial del cilindro en fuerza sobre la biela.
- Hacer estanca la cámara de combustión con respecto al cárter del cigüeñal, por medio de juntas.
- Ceder al medio refrigerante el calor que recibe.

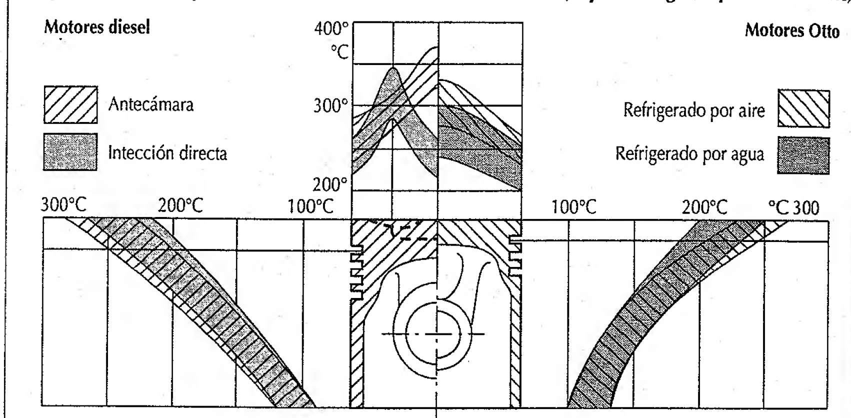
La forma del émbolo y la de aplicar la fuerza del gas a la biela a través del perno del émbolo dependen además mucho de la forma de la cámara de combustión y por lo tanto de la forma de la cabeza del émbolo, y del sistema de combustión empleado y sus presiones máximas de combustión. Las fuerzas que aparecen, la exigencia de un peso de émbolo mínimo y las temperaturas que se producen en el émbolo, que pueden acercarse al limite de resistencia del material del émbolo, exigen un dimensionado cuidadoso del émbolo, de su perno y del cojinete de éste. Los materiales más empleados para cilindros y émbolos son la fundición gris y el aluminio. Para mantener pequeña la holgura entre el émbolo y la camisa del cilindro, por razones de estanqueidad y de ruidos (balanceo del émbolo), a pesar de los diferentes coeficientes de dilatación, se funden con unas tiras de acero o materiales semejantes, que limitan la dilatación del émbolo.

Formas de émbolos para diferentes tipos de motores
1 *Tiras de chapa reguladoras de la dilatación*

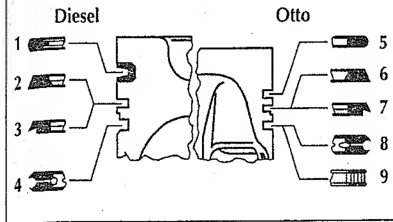


Como elementos de junta de la cámara de combustión y del cárter del cigüeñal se colocan unos aros en el émbolo. Los dos superiores (aros de presión) son de estanqueidad contra el gas. Por lo menos otro aro (normalmente de forma especial), controla como aro rascador el contenido de aceite del émbolo y de los aros de presión. Los aros del émbolo contribuyen considerablemente en la fuerza de rozamiento del motor alternativo a causa de una a veces elevada presión previa de ajuste.

Temperatura de trabajo en los émbolos de motores de automóviles, a plena carga (esquemáticamente)



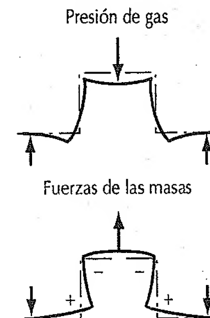
Formas y disposición de aros de émbolos
Motor diesel: **1** *Aro trapezoidal, bombeado;* **2** *Aro de minutos con bisel interior;* **3** *Aro de minutos con talón;* **4** *Aro de bordes achaflanados con gusanillo.*
Motor Otto: **5** *Aro rectangular, bombeado;* **6** *Aro de minutos;* **7** *Aro de talón;* **8** *Aro de bordes achaflanados bisel, rescador;* **9** *Aro rascador compuesto, de acero*



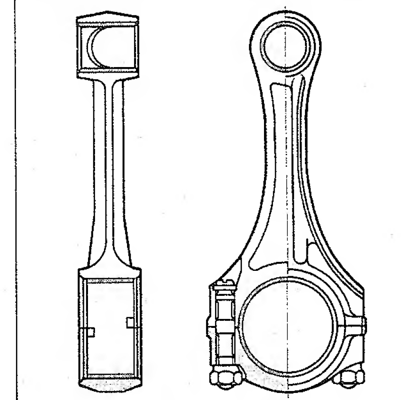
Biela

La biela sirve para la unión del émbolo con el cigüeñal. Está muy solicitada a tracción, compresión y flexión y lleva el cojinete de perno del émbolo y el de muñequilla del cigüeñal. La longitud de la biela viene determinada por la carrera del émbolo y el radio del contrapeso, cuando hay que tener en cuenta la altura del motor (como sucede casi siempre en los motores para vehículos).

Codo de cigüeñal
Solicitaciones y deformaciones principales producidas por la presión de gas y las fuerzas de las masas



Biela de un motor de automóvil de turismo



Cigüeñal

El movimiento alternativo del émbolo es transmitido a los codos del cigüeñal a través de la biela y convertido en movimiento circular, cuyo par se utiliza. Por los grandes y variantes esfuerzos, momentos de torsión y de flexión periódicos y locales que actúan en el cigüeñal, así como por los impulsos oscilantes resultantes, el cigüeñal sufre una solicitación muy elevada y compleja. Por esto debe calcularse y dimensionarse minuciosamente desde el punto de vista de resistencia y de vibraciones. Los casi siempre utilizados apoyos múltiples mediante su sobredeterminación estática dificultan estos cálculos y dimensionamientos.

El número de cojinetes de cigüeñal depende sobre todo de la carga y del número máximo de revoluciones del motor. Los motores diesel, por sus elevadas presiones de trabajo, llevan siempre cojinete a continuación de cada codo y lo mismo ocurre con los motores Otto rápidos y muy cargados.

Los motores Otto pequeños, no tan cargados y por razón de presión, sólo llevan un cojinete cada dos codos. También el número de contrapesos depende principalmente de los criterios anteriormente mencionados.

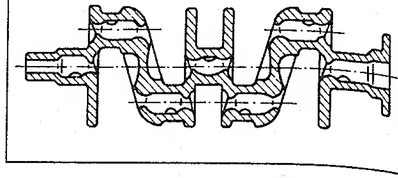
De la carga depende también la selección del material y el procedimiento de fabricación. Los cigüeñales muy cargados son casi siempre forjados. Los menos car-

gados y los de motores pequeños son cada vez más de fundición por motivos de costes y de peso.

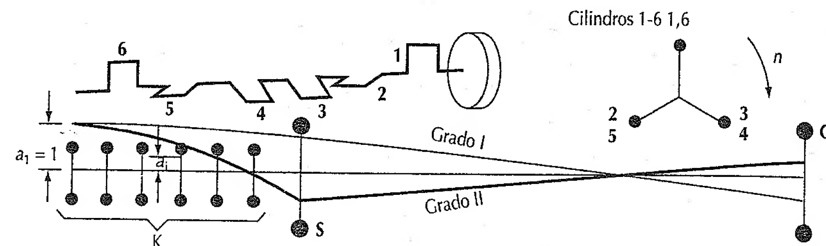
Oscilaciones del cigüeñal
Las oscilaciones a flexión sólo tienen importancia en les motores de pocos cilindros, ya que el cigüeñal, junto con el volante grande de impulsión necesario, constituye un sistema oscilante de baja frecuencia propia. A partir del motor de 3 cilindros, las oscilaciones a flexión no son críticas. Esto es también aplicable a las vibraciones del cigüeñal en sentido longitudinal inducidas por las oscilaciones transversales.

En cambio, al aumentar el número de cilindros, resultan peligrosas las oscilaciones giratorias del sistema oscilante constituido por el cigüeñal, la biela y el émbolo. Este sistema, en el cual la biela y el émbolo tienen momentos de inercia que varían con el ángulo del cigüeñal, se puede calcular por reducción a un eje liso, sin momento de inercia y elástico, que lleve las masas equivalentes convenientes. Con este modelo de reducción de oscilaciones se pueden entonces determinar unas frecuencias propias y los impulsos de las oscilaciones.
La excitación de las vibraciones se produce por las fuerzas tangenciales en los muñones del cigüeñal, componentes de las fuerzas del gas y de las fuerzas de las masas oscilantes. Las oscilaciones de torsión

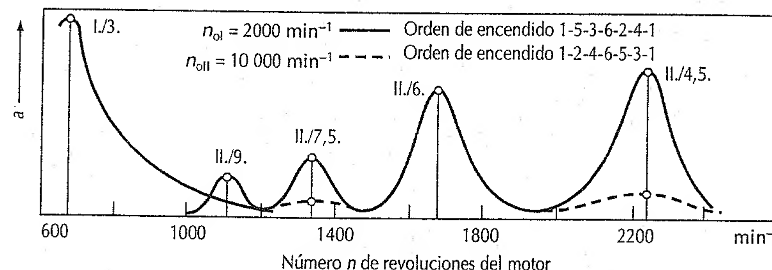
Cigüeñal de fundición



Vibraciones del cigüeñal de un motor de 6 cilindros
1 Esquema de oscilación de un cigüeñal (K) de seis cilindros con volante de impulsión (S) y cambio (G), a impulsos relativos, 2 Análisis del orden con diferentes secuencias de encendido



Análisis de las oscilaciones del cigüeñal en los motores de seis cilindros
con distintos órdenes de encendido, a igual a amplitudes relativas



del cigüeñal deben reducirse a valores no críticos por medio de amortiguadores de vibraciones (por ejemplo: amortiguadores de goma o de viscosa).

Bloque del motor
El bloque del motor constituye el nexo de unión de la fuerza que se transmite entre la culata y el mecanismo de accionamiento, aloja el cigüeñal y las camisas de los cilindros y proporciona espacios estancos al agua y al aceite para el accionamiento y el medio de refrigeración. Además, se fijan a él la mayoría de las piezas de montaje del motor.

La ejecución normal de todos los motores para automóvil es con bloque de fundición, sobre el cual, a través de los tornillos de la culata, actúan las fuerzas de gas que a su vez transmite a los cojinetes de apoyo principales a través de las paredes transversales portantes de forma lo más recta posible y sin momentos flectores. Por motivos de resistencia mecánica, el bloque se prolonga a menudo por debajo del centro del cigüeñal. En los motores Otto los émbolos se deslizan casi exclusivamente en cilindros rectificados en el bloque. En los motores diesel se utilizan casi siempre camisas secas o húmedas de materiales especiales resistentes al desgaste.

Mientras que en los motores de camión el bloque es casi exclusivamente de fundición gris, cada vez más se utilizan los de aluminio por su peso en los turismos.

Culata
La culata cierra el bloque, o sea los orificios de los cilindros, por arriba y lleva los órganos de intercambio de gas, así como las bujías y/o las válvulas de inyección. Además, junto con el émbolo, forma la cámara de combustión apropiada. En los motores de turismos se monta además casi siempre en la culata la regulación completa de las válvulas.
Según la técnica del intercambio de gas se distinguen dos formas fundamentales de construcción:

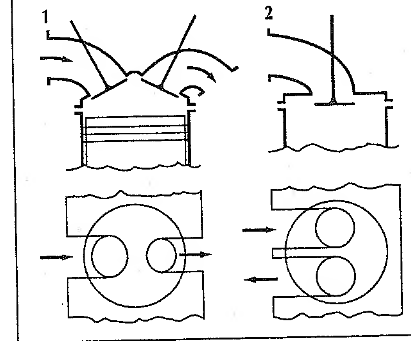
- Culata de contracorriente: El canal de aspiración y el de escape desembocan en un mismo lado de la culata. Esta disposición restringe la conducción para el aire fresco nuevo y el gas de escape, pero tiene notables ventajas para el trabajo con sobrealimentador por los trayectos tan cortos del gas. También tiene ventajas técnicas de conducción de canales en los motores transversales.
- Culata con circulación transversal: Las conducciones de aspiración y de escape están en lados opuestos del motor, con lo que se genera una circulación diagonal para el aire nuevo y el escape. Esta disposición permite una conducción más independiente de los tubos y facilita la estanqueidad.

En los motores grandes y de camión imperan las culatas independientes por cilindro, tanto por el reparto de fuerzas para la estanqueidad como por mantenimiento y reparación, y en el caso de motores refrigerados por aire, por el propósito adicional de refrigeración.

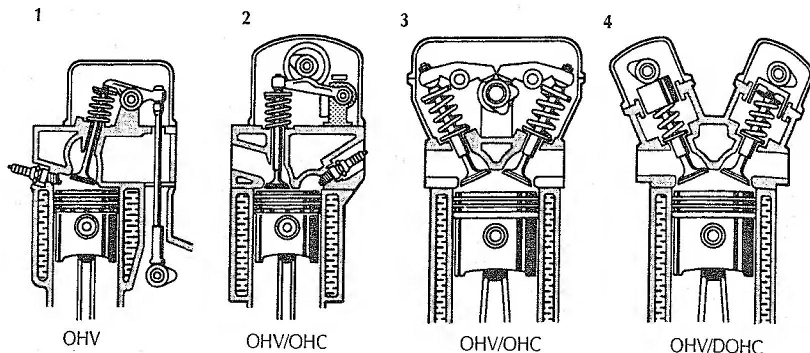
En los motores pequeños y de turismo casi siempre se emplea una culata para todos los cilindros. Las culatas de motores diesel de camión refrigerados por agua son casi siempre de fundición gris. Las culatas refrigeradas por aire así como las culatas de casi todos los motores Otto y diesel para turismos se fabrican hoy en día de aluminio por su mejor conductibilidad calorífica y menor peso.

Accionamiento de las válvulas
El accionamiento de las válvulas en el motor de cuatro tiempos tiene la misión de posibilitar y regular el intercambio de ga-

Reconocimiento de la culata según la canalización de admisión y de escape
1 Conducción en corriente transversal; 2 Conducción en contracorriente



Modelos de regulación de válvulas
1 *Regulación por varilla de empuje;* 2 *Regulación por palanca de oscilante;* 3 *Regulación por balancín;* 4 *Regulación por taqués de platillos, OHV overhead valves (válvulas en la culata), OHC overhead camshaft (árbol de levas en la culata), DOHC double overhead camshaft (árbol de levas doble en la culata)*



ses de la combustión (ver página 374). Se compone de las válvulas de admisión y escape, de los muelles de válvula que las cierran, del accionamiento de las levas y de elementos de la transmisión.

Modelos de regulación de válvulas

Para el árbol de levas incorporado en la culata existen los siguientes tipos:

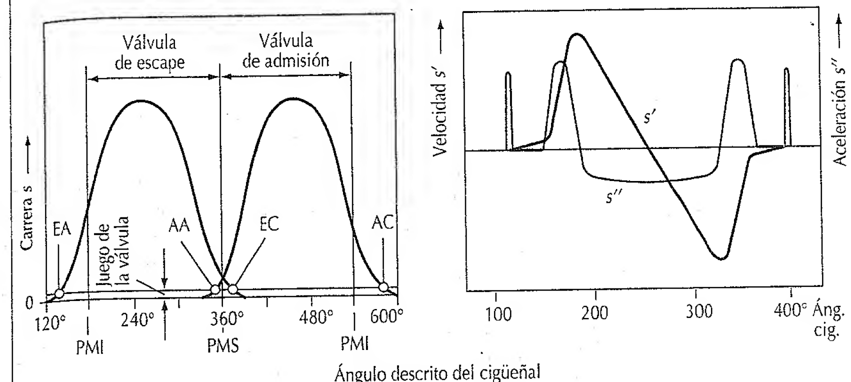
– Regulación por taqués de platillos, en el que unos "platillos" guiados en la culata absorben la fuerza lateral de la leva y la transmiten por su fondo a la válvula.
– Regulación por palanca oscilante, en la cual la fuerza de la leva y la fuerza lateral de la misma es absorbida y transmitida por una palanca oscilante alojada en la culata entre la válvula y la leva. La palanca oscilante intercalada, además de la transmisión de la fuerza y absorción de la fuerza lateral puede realizar también una relación de transmisión del empuje de la leva.
– Regulación por balancines, en la cual el miembro transmisor "balancín" oscila en un eje entre el árbol de levas y la válvula. De este modo tiene lugar casi siempre una relación de transmisión entre la carrera de la leva y la necesaria en la válvula. Cuando el árbol de levas está en el bloque, no acciona directamente los balancines sino que lo hace a través de unas varillas de empuje y unos taqués (regulación por varilla de empuje).

Disposición de las válvulas

El tipo de regulación de las válvulas y la forma de la cámara de combustión guardan una estrecha relación. Hoy en día prácticamente sólo se utiliza la disposición denominada válvulas en cabeza (o en la culata), que van suspendidas. En los motores diesel y los Otto poco solicitados, las válvulas van pues dispuestas paralelas al eje del cilindro y son accionadas preferentemente por balancines, taqués o palancas oscilantes. En los motores Otto dimensionados para potencias elevadas se emplean hoy en día cada vez más las válvulas inclinadas una respecto a la otra, que para un diámetro de cilindro dado admiten mayor diámetro de válvula y mejor conducción de los canales de admisión y de escape. Encuentra utilización en este caso ante todo la regulación por balancines. En motores deportivos y de alta potencia se utilizan cada vez más cuatro válvulas por cilindro y regulación por taqués planos de platillo.

El diagrama de mando de un motor indica los tiempos de abertura y cierre de las válvulas, el ciclo del empuje de la válvula, su empuje máximo, así como su velocidad y aceleración.

Diagrama de mando de válvulas con carrera de la válvula (s), *velocidad de la válvula* (s') *y aceleración de la válvula* (s'')



Valores corrientes de la aceleración de la válvula en motores de turismo con árbol de levas en cabeza,
s''= 60... 65 mm (b/ω^2) ≙ 6400 m/s² a 6000 min⁻¹ para regulaciones con balancines y con palanca oscilante.
s''= 70... 80 mm (b/ω^2) ≙ 7900 m/s² a 6000 min⁻¹ para regulaciones con taqués planos. Para motores de vehículos utilitarios con árbol de levas en el bloque
s''= 100...120mm (b/ω^2) ≙ 2000 m/s² a 2400 min⁻¹.

Válvula, guía y asiento

Las válvulas son de materiales resistentes al calor y a la oxidación. La zona del asiento de la válvula a menudo está blindada. Para mejorar la conductibilidad calorífica ha resultado útil rellenar con sodio el vástago hueco de las válvulas de escape. Para mejorar la resistencia y estanqueidad, hoy en día se suelen tornear las válvulas con un dispositivo especial (rotocap).

En los motores de alta potencia la guía de válvula debe tener buenas propiedades de deslizamiento y de conductibilidad calorífica. Casi siempre se entra a presión en la culata y en su extremo frío lleva a menudo una junta para estanqueidad del vástago, con el fin de reducir el consumo de aceite.

Para disminuir el desgaste, los asientos por lo general se entran en la culata por contracción en frío y suelen ser de fundición o de materiales sinterizados.

Objeto de las levas y dinámica de la regulación

Las levas tienen la misión en la regulación de válvulas, de abrirlas y cerrarlas de la forma más rápida, lo más posible y con el choque mínimo posible. La fuerza de cierre de las válvulas la proporcionan los muelles de válvula, que también cuidan de la transmisión directa de la fuerza de la leva a la válvula. La elevación de las levas y las válvulas viene limitada por fuerzas dinámicas.

El accionamiento conjunto de la válvula puede describirse como un sistema muelle-masa, en el cual el cambio entre energía acumulada y cedida provoca una oscilación forzada. Los accionamientos de válvula con árbol de levas en cabeza pueden así describirse con suficiente exactitud como sistemas de una masa (compuestos de la masa móvil, las rigideces del accionamiento de la válvula y las amortiguaciones correspondientes).

Para los sistemas con árbol de levas en el bloque y varillas de empuje se utiliza cada vez más un sistema de dos masas.

El valor límite de la presión superficial como límite de la pendiente del borde de la leva y del radio del bombeado de la leva está hoy día entre 600 y 750 N/mm² (dependiendo de las parejas de materiales empleados).

Refrigeración

Con el fin de evitar un exceso de solicitación térmica, la combustión del aceite de engrase para el deslizamiento del émbolo y la combustión incontrolada a causa de una temperatura demasiado alta de las piezas, hay que refrigerar intensamente los componentes de la cámara de combustión caliente, como son el cilindro, la culata, las válvulas y, dado el caso, el émbolo.

Refrigeración directa

La refrigeración directa por aire que realiza la extracción del calor de las piezas por una corriente de aire intensa contra las superficies casi siempre provistas de aletas, se emplea preferentemente para motores de motos y aviones, aunque también para motores diesel y Otto de turismos y camiones. Sus principales ventajas son la gran seguridad de funcionamiento y ausencia de mantenimiento. No obstante, se encarece la construcción por la forma de las piezas para ceder el calor y la emisión de ruidos es mayor que en los motores refrigerados por agua.

Refrigeración por un medio intercalado

Puesto que el agua tiene un elevado calor especifico y una buena transmisión del calor entre el material y el medio refrigerante, la mayoría de los motores para vehículos se refrigeran actualmente con agua; el sistema más empleado es el de circulación aire-agua, el cual consiste en un circuito cerrado al que pueden añadirse substancias de protección contra la corrosión y la congelación. El agua de refrigeración se bombea por medio de una bomba accionada por el motor y pasa por un radiador enfriado por aire. Ese aire de refrigeración pasa a través del radiador impulsado por el viento de la marcha del vehículo o por un ventilador adicional. La temperatura del agua de refrigeración se regula mediante una válvula con termostato que evita el paso por el radiador cuando sea necesario.

Engrase

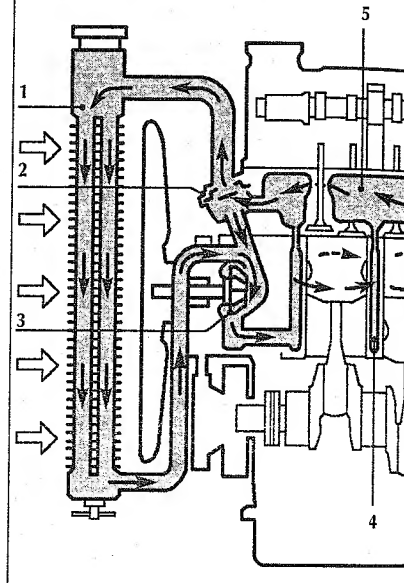
Misión del aceite en el motor de combustión: Engrase y refrigeración de todas las piezas de propulsión, extracción de impurezas y neutralización de los productos de la combustión químicamente activos, transmisión de fuerzas y amortiguación de vibraciones. Estas funciones sólo las puede de satisfacer el aceite cuando llega en cantidad suficiente a los lugares críticos del motor, y sus propiedades por su fabricación y refino (aditivos); son las adecuadas a las exigencias.

En la lubricación independiente, mediante un dosificador, se envía una cantidad de aceite a los lugares a engrasar y allí se consume. Un caso especial es la lubricación por el combustible en el cual el aceite se añade o mezcla con el combustible en la proporción de 1:20 a 1:100 (se utiliza principalmente en motores pequeños de dos tiempos).

En la mayoría de los motores para vehículos se utiliza el circuito de engrase a presión, en combinación con un engrase por inyección y nebulización. Todos los lugares en que hay cojinetes son lubricados con aceite enviado a presión por una bomba (casi siempre una bomba de engranajes) mientras que aquellos en que hay deslizamiento se lubrican por inyección o centrifugación y nebulización. El aceite, después de lubricar los cojinetes y los puntos de deslizamiento en su circuito, es recogido en un cárter bajo el cigüeñal, donde se enfría y reduce la espuma por medio del reposo. En los motores sometidos a grandes cargas se utiliza además un refrigerador del aceite. La limpieza del aceite influye decisivamente en la vida del motor.

Refrigeración con circuito de agua

1 Radiador, 2 Termostato, 3 Bomba de agua, 4 Canales de agua en el bloque, 5 Pasos de agua de refrigeración en la culata



Filtro de aceite

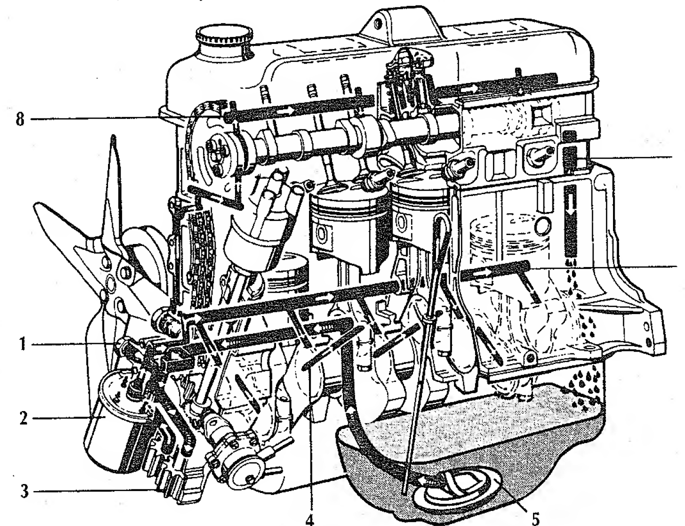
Los filtros de aceite separan los cuerpos sólidos extraños del aceite del motor (restos de la combustión, partículas metálicas de la abrasión, polvo) y mantienen la calidad del lubricante durante los intervalos de mantenimiento. Su tamaño está en función del grado de suciedad del motor y de los intervalos de mantenimiento prescritos por el fabricante del motor. El mantenimiento del filtro y el cambio de aceite deben realizarse simultáneamente.

Los filtros en la corriente principal protegen la totalidad del circuito de aceite, ya que retienen las partículas abrasivas procedentes de la vuelta anterior. Como elemento filtrante de la corriente principal se han impuesto los filtros finos de papel. Filtran partículas considerablemente más finas que los filtros de tamiz o de laminillas. Los filtros de la corriente principal deben estar provistos de una válvula de derivación que asegure el suministro de aceite del motor en caso de obturación del filtro. Fundamentalmente deben disponerse en el circuito del aceite detrás de la válvula reguladora de presión. Los filtros de la corriente principal son, en su mayoría, del tipo de los llamados recambiables.

Los filtros de la corriente secundaria absorben sólo del 5 al 10 % del aceite del sistema a presión y pasa al cárter una vez limpio. Son preferentemente del tipo de relleno de fibra (filtro de profundidad). Se recomienda utilizar los filtros de la corriente secundaria únicamente como complemento de los filtros de la corriente principal. Con los filtros de corriente secundaria se filtran las partículas más finas que pasan a través del filtro principal (principalmente hollín) y se reduce así la concentración de suciedad en el aceite.

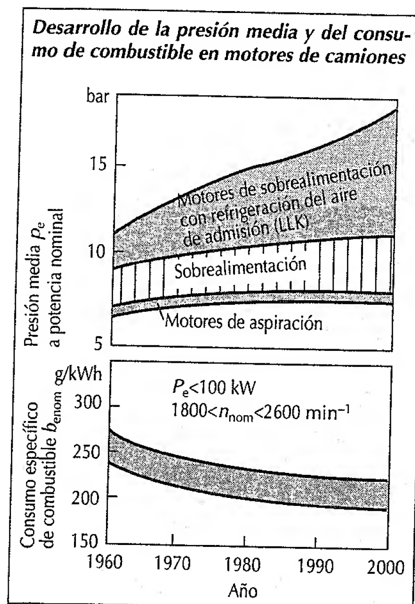
Lubricación por circuito a presión

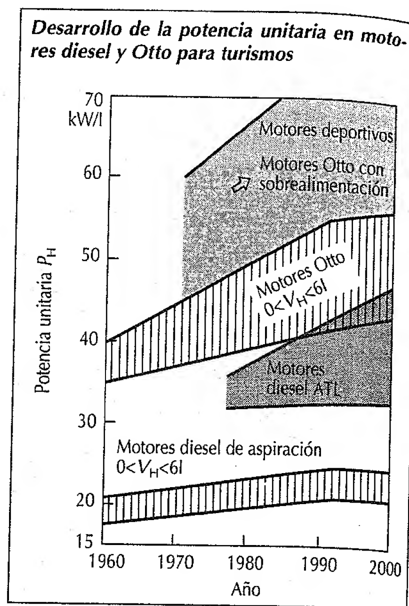
1 Válvula de descarga, 2 Filtro de aceite, 3 Bombas de engranajes, 4 Del cojinete principal al cojinete de biela, 5 Campana de aspiración con filtro, 6 Conducción principal de aceite a presión a los cojinetes del cigüeñal, 7 Retorno de la distribución al cárter, 8 A los cojinetes del árbol de levas



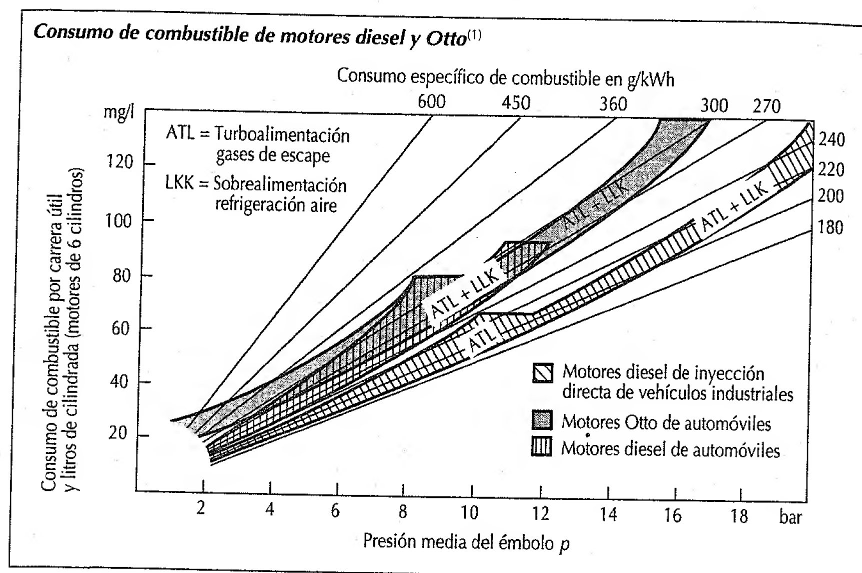
Datos empíricos y datos para los cálculos

Comparaciones





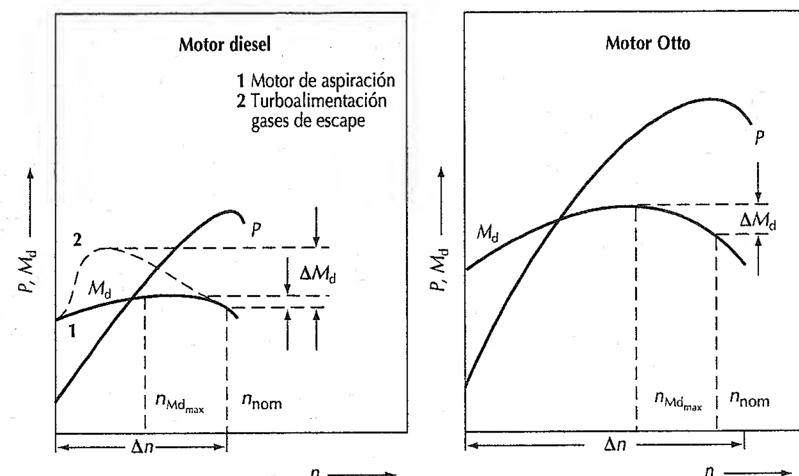
(1) Influencia del consumo mediante medidas tomadas en el vehículo pág. 329



Datos comparativos

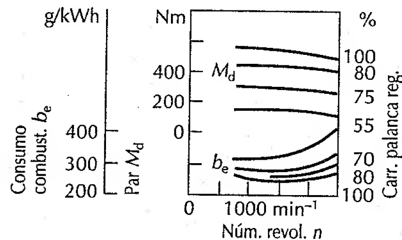
Tipo de motor		Núm. de revoluciones min⁻¹	Rel. de compresión	Presión media bar	Pot. por embolada kW	Relación Peso/Potencia kg/kW	Consumo de combust. g/kWh	Elevación del par %
Motor Otto para								
Motos de	2 tiempos	4500...12000	7...9	5...12	40...100	5...0,5	600...350	5...10
	4 tiempos	5000...10000	8...11	7...10	30...70	4...0,5	350...270	5...25
Tur.	Motor aspir.	4500...7500	8...12	8...11	35...65	3...1	350...250	15...25
	con sobrealimentación	5000...7000	7...9	11...15	50...100	3...1	380...280	10...30
Camiones		2500...5000	7...9	8...10	20...30	6...3	380...270	15...25
Motor Diesel para								
Tur.	Motor aspir.	3500...5000	20...24	7...9	20...35	5...3	320...240	10...15
	con sobrealimentación	3500...4500	20.24	9...12	30...45	4...2	290...240	15...25
Cam.	Motor aspir.	2000...4000	16...18	7...10	10...20	9...4	240...210	10...15
	con sobrealim.	2000...3200	15...17	10...13	15...25	8...3	230...205	15...30
	con LLK(1)	1800...2600	14...16	13...18	25...40	5...2,5	225...195	20...40
Tipos espec. construc.								
Motor émbolos rotat.		6000...8000	7...9	8...1	35...45	1,5...1	380...300	5...15
Motor Stirling		2000...4500	4...6	–	–	10...7	300...240	20...40
Turbina de gas		8000...70000	4...6	–	–	3...1	1000...300	50...100

(1) Con refrigeración del aire de alimentación.

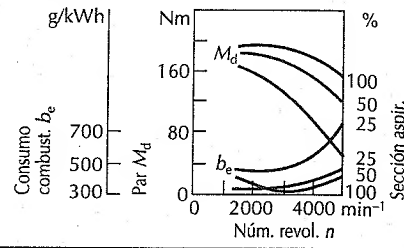


Desarrollo de la potencia *(comportamiento de la carga parcial) para un tramo de regulación determinado o una posición predeterminada del acelerador*

Curvas características de un motor diesel con regulación prefijada constante. M_d permanece prácticamente constante con n



Curvas caracter. de un motor Otto (de 4 tiempos) con carburador con posic. const. de la mariposa de estrangul. M_d se reduce mucho al bajar n, P_{ef} permanece casi constante con n



Posición de par
Posición del par máximo dentro del margen de revoluciones con relación al nominal, en % ($N_{Mdmax}/n_{nom} \cdot 100$)

Margen de revoluciones útiles
(número inferior a plena carga/nominales)

Tipo de motor		Intervalo útil de revoluciones Δn_N	Posición de par %
Motor diesel	para turismos	3,5...5	15...40
	para camiones	1,8...3,2	10...60
Motor Otto		4...7	25...35

Potencia del motor, estado del aire

Tipo de motor		Elevac. par M_d en %
Motor diesel para turismos	Motores aspiración	15...20
	con sobrealim.	20...30
Motor diesel para camiones	Motores aspiración	10...15
	con sobrealim.	15...30
	con LLK	25...40
Motor Otto	Motor aspiración	25...30
	con sobrealim.	30...35

Potencia del motor, estado del aire

La contención de calor de la carga de un cilindro determina esencialmente el par de un motor de combustión y con ello también su potencia. Una medida directa de la contención de calor es la cantidad de aire de la carga de un cilindro (más exactamente la cantidad de oxígeno). La variación de la potencia máxima de un motor se puede calcular por el cambio de estado del aire ambiente (temperatura, presión, humedad), permaneciendo constantes, además del número de revoluciones del motor, la relación aire-combustible, el grado de llenado del cilindro, el rendimiento de la combustión y la potencia de pérdida del motor. La mezcla aire-combustible se hará más rica a medida que disminuya la densidad del aire. El grado de llenado del cilindro (presión en el cilindro en la aspiración con respecto a la presión atmosférica) sólo permanece constante cuando los órganos de regulación están completamente abiertos (plena potencia) para cada estado del aire. El rendimiento de la combustión desciende con el aire frío y enrarecido a causa de la menor evaporación y turbulencia y la combustión más lenta. La potencia de pérdida del motor (pérdidas por rozamiento + trabajo de intercambio de gases + potencia de alimentación) disminuye la potencia indicada.

Influencia del estado del aire
Cuanto más pesado (más denso y más frío) es el aire que rodea al motor, más aire será aspirado o comprimido, y mayor será por ello la potencia del motor. Regla empírica: Por cada 100 m de altura disminuye la potencia del motor aproximadamente un 1%. Según el tipo de motor, el aire frío se calienta previamente más o menos en las conducciones de la aspiración y así se enrarece. El precalentamiento del aire disminuye la potencia del motor. El aire húmedo contiene menos oxígeno que el aire seco y da por ello una potencia menor del motor. La disminución es por lo general pequeña y no se tiene en cuenta, pero el aire húmedo y caliente de los trópicos, puede reducir sensiblemente la potencia del motor.

Definición de potencia

Potencia útil es la potencia de un motor obtenida a un número correspondiente de revoluciones en el cigüeñal o en un dispositivo auxiliar (p.ej. la caja de cambios). Al tomar la potencia en la caja de cambios, hay que agregarle la potencia de pérdida de ésta. Potencia nominal es la máxima de un motor a plena carga. Potencia neta corresponde a potencia útil.
Para poder comparar indicaciones comparables sobre la potencia, independientemente de las condiciones atmosféricas a lo largo del día o del año y de los diferentes fabricantes, los valores de potencia son transformados en valores de referencia, calculándose la masa de aire reinante "bajo condiciones normales" basadas en la densidad de aire medida y con ello se calcula la masa de aire de trabajo en el motor.
El cuadro comparativo que se muestra a continuación contiene las normas más importantes de estas correcciones de potencia.

Normas de corrección de potencia (comparación)

Norma (fecha) publicación)	EWG 80/1269 (4/81)	ISO 1585 (5/82)	JIS D 1001 (10/82)	SAE J 1349 (5/85)	DIN 70020 (11/76)
Presión barométrica durante el ensayo (* presión de vapor restada)					
seco p_{PT}* kPa	99	99	99	99	–
húmedo p_{PF} kPa	–	–	–	–	101,3
Temperatura absoluta T_p en el ensayo					
K	298	298	298	298	293
Motores Otto de aspiración y de sobrealimentación					
Factor de corrección α_a	$\alpha_a = A^{1,2} . B^{0,6}$ $A = 99/p_{pT}$ $B = T_p/298$				$\alpha_a = A.B^{0,5}$ $A = 101,3/\ p_{pF}$ $B = T/293$
Potencia corregida: $P_0 = \alpha_a \cdot P$ (kW) (*P* potencia medida)					
Motores diesel de aspiración y de sobrealimentación					
Factor de corrección atmosférica f_a	$f_a = A \cdot B^{0,7}$ ($A = 99/p_{PT}$; $B = T_p/293$) (Motores de aspiración y de sobrealimentación mecánica) $f_a = A^{0,7} \cdot B^{1,5}$ ($A = 99/p_{PT}$; $B = T_p/293$) (Motores de sobrealimentación turbo con/sin refrigeración de aire)				como en α_a en motores Otto
Factor de corrección de motor f_m	$40 \le q/r \le 65$ $q/r < 40$ $q/r > 65$	$f_m = 0,036 \cdot (q/r) - 1,14$ $f_m = 0,3$ $f_m = 1,2$			$f_m = 1$
$r = p_L/p_E$ Comportamiento de la presión de la alimentación, con p_L presión absoluta de carga, p_E presión absoluta antes del compresor, *q* consumo específico de combustible (SAE J 1349), motores de cuatro tiempos: $q = 120000$ F/DN, motores de dos tiempos: $q = 60000$ F/DN con F caudal de combustible (mg/s), *D* volumen de carrera (l), *N* número de revoluciones del motor (min⁻¹)					
Potencia corregida: $P_0 = P \cdot f_a^{fm}$ (kW) (P potencia medida)					
Dispositivos auxiliares prescritos					
Ventilador		Sí, en ventiladores eléctricos o visco a máximo resbalamiento			No definido
Purificador gases escape		Sí			No definido
Alternador		Sí, cargado con desprendimiento de corriente del motor			Sí
Servobombas		No			No
Equipo de climatización		No			No

Cálculo

Magnitud		Unidad
α_k	Aceleración del émbolo	m/s²
B	Consumo de combustible	kg/h; dm³/h
b_e	Consumo especif. de combustible	g/kwh
D	Diám. del cilindro 2.r	mm
d_v	Diámetro de la válvula	mm
F	Fuerza	N
F_G	Fuerza del gas en el cilindro	N
F_N	Fuerza de lateral del émbolo	N
F_o	Fuerza de inercia oscilante	N
F_r	Fuerza de inercia rotatoria	N
F_s	Fuerza de la biela	N
F_T	Fuerza tangencial	N
M	Par	N.m
M_o	Par oscilante	N.m
M_r	Par rotatorio	N.m
M_d	Par motor	N.m
m_p	Peso-Potencia	kg/kw
n	Núm. revoluciones motor	1/min
n_p	Núm. revol. bomba inyección	min⁻¹
P	Potencia	kw
P_{ef}	Potencia útil (1)	kw
P_H	Potencia por embolada	kw/dm³
p	Presión	bar
p_c	Presión final compres.	bar
p_e	Presión media émbolo (presión media trabajo)	bar
p_L	Presión de carga	bar
p_{max}	Presión punta en cilindro	bar
r	Radio del cigüeñal	mm
s_d	Sección del inyector	mm²
S, s	Carrera en general	mm
s	Carrera del émbolo	mm
s_F	Carrera llenado motor 2 tiempos	mm
s_K	Dist. émbolo a punto muerto sup.	mm
S_s	Alt. lumbreras motor 2 tiempos	mm
T	Temperatura	°C,K
T_e	Temperatura final compres.	K
T_L	Temperatura del aire de carga	K
T_{max}	Temperatura punta en cámara combustión	K
t	Tiempo	s
V	Volumen	m³
V_c	Cámara de compresión de un cilindro	dm³

Magnitud		Unidad
V_E	Cantidad inyectada por cada embolada de la bomba	mm³
V_f	Volumen de llenado de un cilindro (2 tiempos)	dm³
V_F	Volumen de llenado de 2 tiempos	dm³
V_h	Cilindrada de un cilindro	dm³
V_H	Cilindrada del motor	dm³
v	Velocidad	m/s
v_d	Velocidad media del chorro inyectado	m/s
v_g	Velocidad del gas	m/s
v_m	Veloc. media del pistón	m/s
v_{max}	Veloc. máxima del pistón	m/s
z	Número de cilindros	–
α_d	Durac. inyección (en ° cigüeñal en bomba inyección	°
β	Ángulo de inclinación de la biela	°
ε	Relación de compresión	–
η	Rendimiento	–
η_e	Rendimiento efectivo	–
η_{th}	Rendimiento térmico	–
v, n	Exponente politrópico de los gases reales	–
ρ	Densidad	kg/m³
φ, α	Ángulo del cigüeñal (φ_o = Punto muerto superior)	°
ω	Velocidad angular	rad/s
λ	= relac. r/long. biela	–
λ	Relac. proporción aire	–
χ	= c_p/c_v Expon. adiabático gases ideales	–

Índices

0, 1, 2, 3, 4, 5	Valores de los ángs. del proceso
o	oscilante
r	rotatorio
1., 2.	1°, 2° orden
A	Constante
′ ″	Subdivisión de los valores angulares,
′	Derivaciones

Conversión de unidades
(ver también págs. 17 a 38)

1 g/CV. h	= 1,36 g/kw . h
1 g/kw . h	= 0,735 g/ CV . h
1 kp . m	= 9,81 N. m ≈ 10 N . m
1 N . m	= 0,102 kp. m ≈ 0,1 kp . m
1 CV	= 0,735 kw
1 Kw	= 1,36 CV
1 at	= 0,981 bar ≈ 1 bar
1 bar	= 1,02 at ≈ 1 at

(1) Potencia efectiva P_{ef} es la potencia útil suministrada por el motor de combustión, pero con la cual hay que accionar, no obstante, los equipos auxiliares para el funcionamiento (por ejemplo: el encendido, la bomba de inyección, los ventiladores de barrido y de aire frío, la bomba del agua de refrigeración y el ventilador, y el sobrealimentador) (DIN 1940). En DIN 70020 se denomina potencia neta (ver pág. 403).

Ecuaciones para el cálculo

Ecuaciones con magnitudes	Ecuaciones con valores numéricos
Cilindrada Cilindrada de un cilindro (vol. p. embolada) $V_h = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s}{4}$; $V_f = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s_f}{4}$ (2 tiempos)	$V_h = 0{,}785 \cdot 10^{-6}\, d^2 \cdot s$ V_h en dm³, d en mm, s en mm
Cilindrada del motor $V_H = V_h \cdot z$; $V_F = V_f \cdot z$ (2 tiempos)	$V_h = 0{,}785 \cdot 10^{-6}\, d^2 \cdot s \cdot z$ V_h en dm³, d en mm, s en mm
Compresión Relación de compresión $\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$ (Diagrama , ver pág 408) Presión final de la compresión $p_c = p_o \cdot \varepsilon^v$ Temperatura final de la compresión $T_c = T_o \cdot \varepsilon^{v-1}$	
Movimiento del émbolo (Diagr., v. p. 409) Dist. del émbolo al punto muerto sup. $s_K = r\left[1 + \frac{l}{r} - \cos\varphi - \sqrt{\left(\frac{l}{r}\right)^2 - \operatorname{sen}^2\varphi}\right]$ Ángulo del cigüeñal $\varphi = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot t$ (φ en rad) Velocidad del émbolo (aproximación) $v \approx 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r\left(\operatorname{sen}\varphi + \frac{r}{2l}\operatorname{sen} 2\varphi\right)$ Velocidad media del émbolo $v_m = 2 \cdot n \cdot s$ Velocidad máxima del émbolo (aproximadamente, cuando la biela es tangente al círculo del cigüeñal, $a_k = 0$)	*Motor de 4 tiempos* — *Motor de 2 tiempos* $\varphi = 6 \cdot n \cdot t$ φ en °, n en min⁻¹, t en s $v \approx \frac{n \cdot s}{19100}\left(\operatorname{sen}\varphi + \frac{r}{2l}\operatorname{sen} 2\varphi\right)$ v en m/s², n en min⁻¹, l, r y s en mm $v_m = \frac{n \cdot s}{30000}$ (Diagrama ver pág. 410) v_m en m/s, n en min⁻¹, s en mm

l/r	3,5	4	4,5
v_{max}	$1{,}63 \cdot v_m$	$1{,}62 \cdot v_m$	$1{,}61 \cdot v_m$

(Diagrama ver pág. 410)

Aceler. del émbolo (aproximación) $a_k \approx 2 \cdot \pi^2 \cdot n^2 \cdot s\left(\cos\varphi + \frac{r}{l}\cos 2\varphi\right)$	$a_k \approx \frac{n^2 \cdot s}{182400}\left(\cos\varphi + \frac{r}{l}\cos 2\varphi\right)$ a_k en m/s², n en min⁻¹, l, r y s en mm

(1) Definición de "Ecuación con magnitudes" y "Ecuación con valores numéricos" en pág. 44.

Ecuaciones para el cálculo (continuación)

Ecuaciones con magnitudes	Ecuaciones con valores numéricos
Velocidad del gas Velocidad media del gas en la sección de la válvula $v_g = \frac{d^2}{d_v^2} \cdot v_m$	$v_g = \frac{d^2}{d_v^2} \cdot \frac{n \cdot s}{30000}$ v_g en m/s; d; d_v y s en mm; min^{-1}
Los valores más altos de suministro se consiguen con velocidades de gas medias de 90 a 110 m/s (valores empíricos)	
Suministro de combustible Cantidad inyectada en cada carrera de la bomba de inyección: $V_E = \frac{P_{eff} \cdot b_e}{\rho \cdot n_p \cdot z}$	$V_E = \frac{1000 \cdot P_{eff} \cdot b_e}{60 \cdot \rho \cdot n_p \cdot z}$ V_E en mm^3, P_{ef} en Kw, b_e en g/kw · h (o también P_{ef} en CV, be en g/CV · h) n_p en min^{-1}, ρ en kg/dm^3 (para los combustibles $\rho \approx 0{,}85$ kg/dm^3)
Velocidad media del chorro inyectado $v_d = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_p \cdot V_E}{S_d \cdot \alpha_d}$ (α_d en rad)	$v_d = \frac{6 n_p \cdot V_E}{1000 \cdot S_d \cdot \alpha_d}$ v_d en m/s, n_p en min^{-1}, V_E en mm^3, S_d en mm^2, α_d en °.
Potencia del motor $P = M \,.\, \omega = 2 \,.\, \pi \,.\, M \,.\, n$	$P = M \,.\, n/9549$ P en kW, M en N . m (= W . s), n en min^{-1}
$P_{ef} = V_H \,.\, p_e \,.\, n/K$ $K = 1$ para motor de 2 tiempos $K = 2$ para motor de 4 tiempos	$P_{eff} = \frac{V_H \cdot p_e \cdot n}{K \cdot 600} = \frac{M_d \cdot n}{9549}$ P_{eff} en kW, p_e en bar, n en min^{-1}, M_d en N ·m
Potencia por cilindrada (potencia unitaria) $P_H = \frac{P_{eff}}{V_H}$ Peso-Potencia $m_P = \frac{m}{P_{eff}}$	$P = M \cdot n/716{,}2$ P en CV, M en kp · m, n en min^{-1}

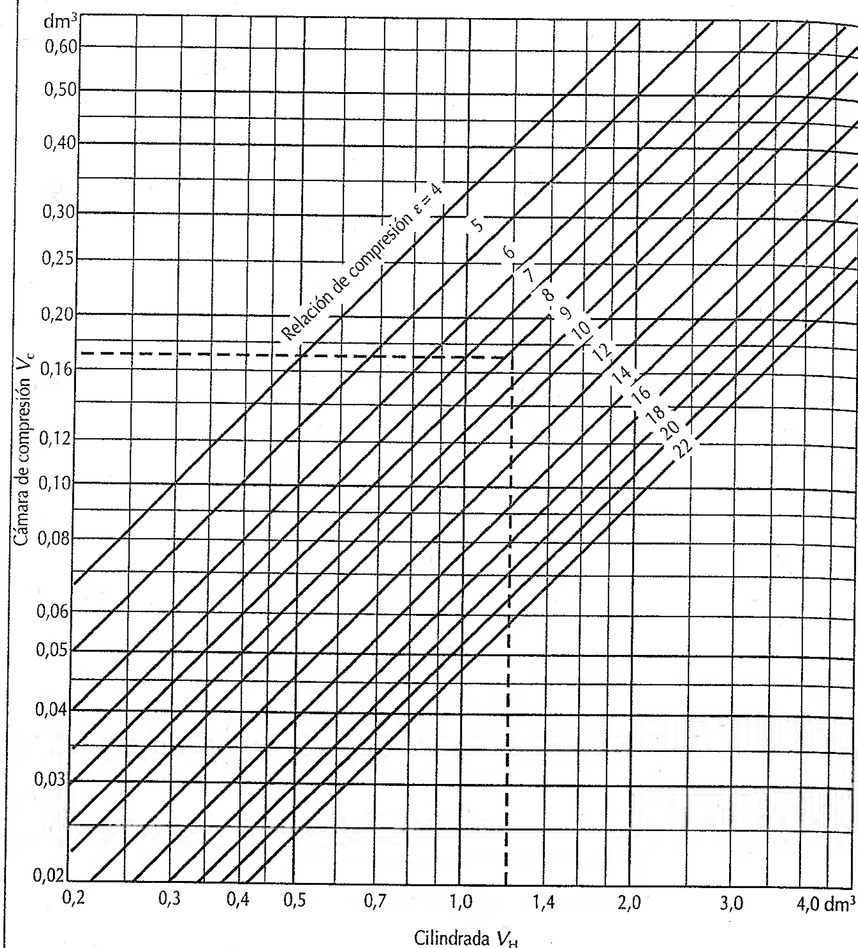
Ecuaciones para el cálculo (continuación)

Ecuaciones con magnitudes		Ecuaciones con valores numéricos	
Presión media en el émbolo (presión media, presión media de trabajo)			
Motor de cuatro tiempos	Motor de dos tiempos	Motor de cuatro tiempos	Motor de dos tiempos
$p = \frac{2 \cdot P}{V_H \cdot n}$	$p = \frac{P}{V_H \cdot n}$	$p = 1200 \frac{P}{V_H \cdot n}$	$p = 600 \frac{P}{V_H \cdot n}$
		p en bar, P en kW, V_H en dm^3, n en min^{-1}	
$p = \frac{4 \cdot \pi \cdot M}{V_H}$	$p = \frac{2 \cdot \pi \cdot M}{V_H}$	$p = 883 \frac{P}{V_H \cdot n}$	$p = 441 \frac{P}{V_H \cdot n}$
		p en bar, P en CV, V_H en dm^3, n en min^{-1}	
		$p = 0{,}1257 \frac{M}{V_H}$	$p = 0{,}0628 \frac{M}{V_H}$
		p en bar, M en N . m, V_H en dm^3	
Par motor $M_d = \frac{V_H \cdot p_e}{4\pi}$	$M_d = \frac{V_H \cdot p_e}{2\pi}$	$M_d = \frac{V_H \cdot p_e}{0{,}12566}$ $\quad M_d = \frac{V_H \cdot p_e}{0{,}06284}$ M_d en N · m, V_H en dm^3, p_e en bar $M_d = 9549 \cdot P_{ef}/n$ M_d en N · m, P_{ef} en kW, n en min^{-1}	
Consumo de combustible[1] B = Valor medido, en kg/h $b_e = B/P_{ef} = B/P_e$; $b_e = 1/(H_u \cdot \eta_e)$		B en dm^3/h o kg/h V_B = Volumen medido en banco pruebas t_B = Tiempo cronometrado para la medición del volumen consumido $b_e = \frac{V_B \cdot \rho_B \cdot 3600}{t_B \cdot P_{ef}}$ ρ_B = Densidad del combustible en g/cm^3 t_B en S, V_B en cm^3, P_{ef} en kW.	
Rendimiento $\eta_{th} = 1 - \varepsilon^{1-v}$ $\eta_e = P_e/(B \,.\, H_u)$		η_e 86b_e con H_v = Potencia calorífica específica 42 000 kJ/kg b_e en g/kW · h	

[1] Influencia sobre el consumo de combustible por medidas efectuadas en el vehículo, pág. 329.

Cilindrada y volumen de compresión *Esquema y ecuación, ver pág. 405*

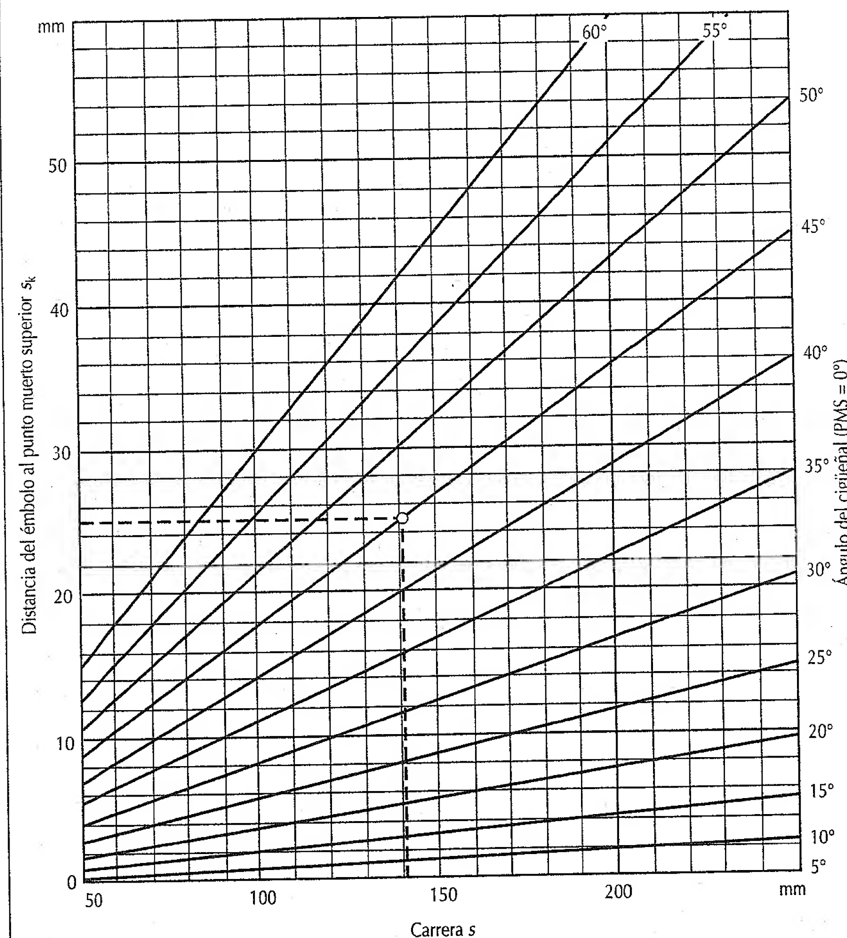
El diagrama es válido para la cilindrada V_H y el volumen de compresión V_C de un cilindro y también para la cilindrada de un motor V_H y su volumen total de compresión.



Ejemplo:
Un motor con una cilindrada de 1,2 dm³ y una relación de compresión ε = 8 tiene un volumen total de compresión de 0,17 dm³.

Distancia del émbolo al punto muerto superior *Ecuación, ver pág. 405*

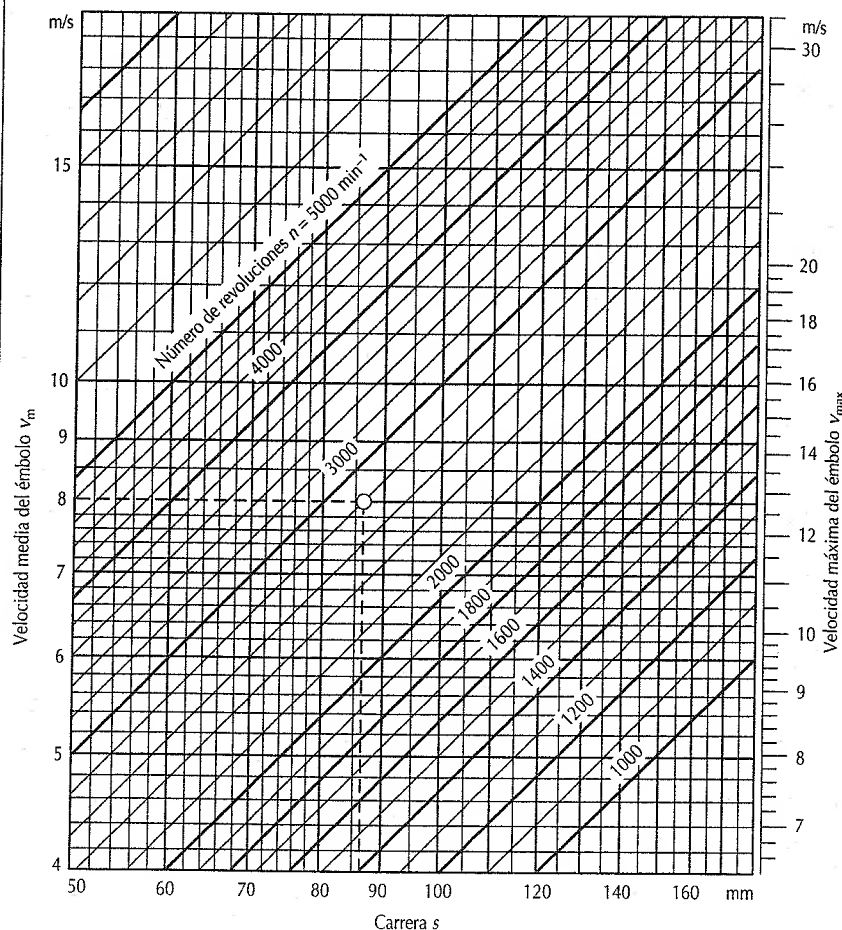
Conversión del ángulo en grados descrito por el cigüeñal, en mm de carrera del émbolo



Ejemplo:
Para una carrera de 140 mm, la distancia del émbolo al punto muerto superior es de 25 mm, con un ángulo del cigüeñal de 45°.
El diagrama está basado en una relación de cigüeñal $l/r = 4$ (l longitud de la biela, r media carrera [o radio círculo cigüeñal]). Pero con buena aproximación se cumple, para todas las relaciones biela-cigüeñal, l/r entre 3,5 y 4,5 (error inferior al 2 %).

Velocidad del émbolo

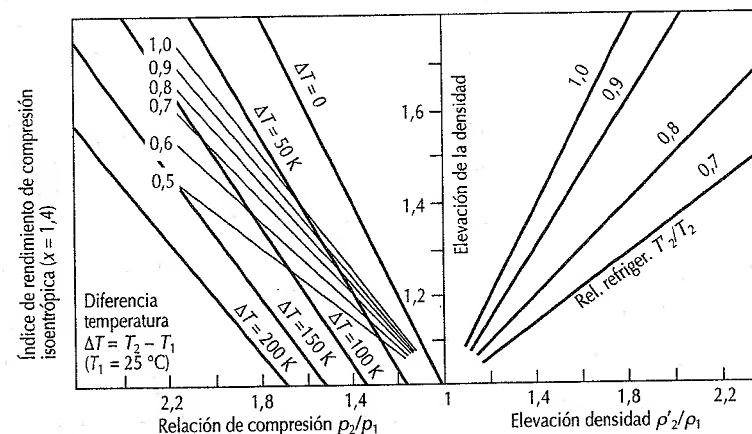
Ecuaciones: ver pág. 405.



Ejemplo:
Para una carrera s = 86 mm y un número de revoluciones n = 2800 min^{-1}, la velocidad media del émbolo v_m = 8 m/s y la velocidad máxima del émbolo v_{max} = 13 m/s.
El diagrama se ha calculado con v_{max} = 1,62 vm (ver pág. 405).

Elevación de la densidad del aire de combustión en el cilindro con la sobrealimentación

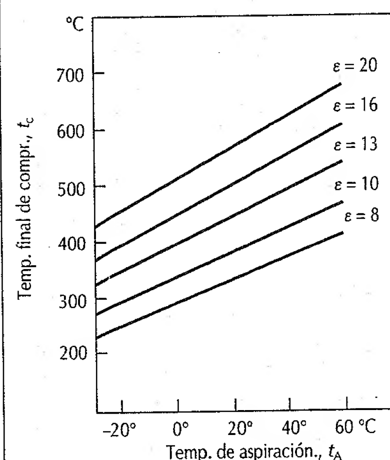
Elevación de la densidad en la sobrealimentación en función de la relación de compresión en el compresor y del rendimiento de la compresión y de la relación de refrigeración en el caso de refrigeración del aire de sobrealimentación (LLK)



$p_2/p_1 = \pi_c$ = Relación de compresión en la compresión previa
ρ_2/ρ_1 = Elevación de la densidad; ρ_1 = Densidad antes del compresor, ρ_2 = Densidad después del compresor en kg/m^3
T'_2/T_2 = Relación de refrigeración, T_2 = Temperatura antes de la LLK; T'_2 = Temperatura después de la LLK en K;
$\eta_{is\text{-}v}$ = Rendimiento isoentrópico del compresor

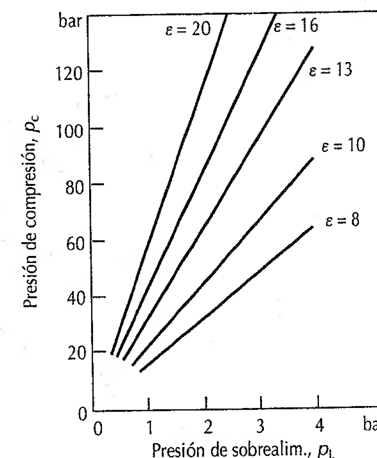
Presión y temperatura finales de la compresión

Temperatura final de la compresión en función de la relación de compresión y de la temperautra de aspiración



$t_c = T_c - 273{,}15$ K; $T_c = T_A \cdot \varepsilon^{n-1}$; $n = 1{,}35$

Presión final de la compresión en función de la relación de compresión y presión de sobrealimentación



$p_c = p_L \cdot \varepsilon^n$; $n = 1{,}35$

Motor alternativo de combustión externa (motor Stirling)

Proceso de trabajo y rendimiento

Desarrollo del proceso: En el estado I se encuentra el émbolo de trabajo inferior en su posición más baja y el de desplazamiento (émbolo superior) en la posición más alta; todo el gas de trabajo se encuentra expansionado entre ambos émbolos en el espacio "frío". En la carrera de I a II el émbolo de trabajo comprime el medio de trabajo en el espacio frío. El émbolo de desplazamiento permanece en su posición alta. De II a III, el medio de trabajo comprimido por el émbolo de desplazamiento en su carrera descendente sobre el enfriador en el regenerador (donde absorbe el calor almacenado) es a continuación impulsado al calentador (donde se calienta a la temperatura máxima de trabajo). Como el émbolo de trabajo permanece en la posición inferior, no varía por tanto el volumen.

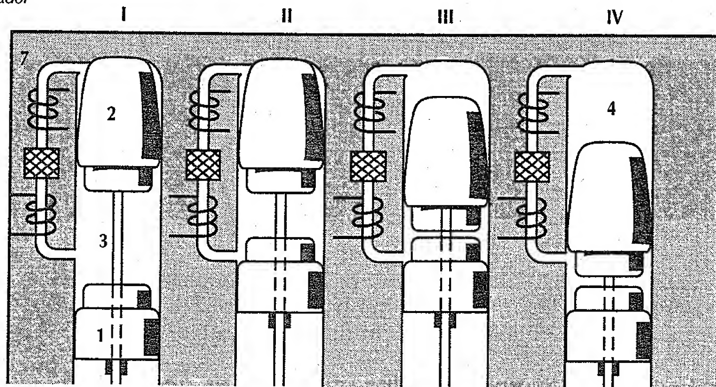
El gas calentado pasa del calentador al espacio "caliente", encima del émbolo de desplazamiento. En la carrera de III a IV se expande el gas caliente; los émbolos de trabajo y desplazamiento están comprimidos en su posición más baja y se produce trabajo. El ciclo se cierra en la carrera de IV a I, donde de nuevo, por medio del émbolo de desplazamiento en su nueva carrera ascendente, se comprime el gas a través del calentador en el regenerador y cede así gran parte de su calor. El calor residual se desprenderá en el enfriador, antes de que el gas vuelva a pasar al espacio frío.

El proceso teórico consta pues de una compresión casi isotérmica (el gas de trabajo se vuelve a enfriar en el refrigerador a su temperatura inicial con una compresión adiabática), una conducción de calor isócora a través del regenerador y el calentador, una expansión casi isoterma (el gas de trabajo se vuelve a calentar con una expansión adiabática en el calentador) y un desprendimiento de calor isócoro a través del regenerador y el refrigerador.

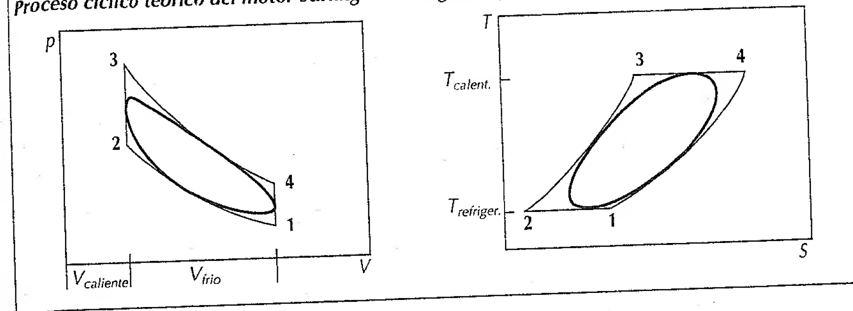
El proceso ideal representado en el diagrama *p-V* y el *T-S* sólo se conseguiría, si tal como se ha descrito los émbolos de trabajo y de desplazamiento se movieran de forma discontinua.

Si ambos émbolos estuvieran, por ejemplo, unidos a un mismo eje mediante un mecanismo de rombo, efectuarían así movimientos sinusoidales desfasados que darían un diagrama de trabajo redondeado con el mismo rendimiento del proceso —parecido al rendimiento del ciclo de Carnot—, pero con pérdidas de potencia y de rendimiento efectivo.

Desarrollo del proceso de trabajo del motor Stirling
Cuatro etapas del movimiento discontinuo de los émbolos de trabajo y desplazamiento
1 *Émbolo de trabajo,* 2 *Émbolo de desplazamiento,* 3 *Espacio frío,* 4 *Espacio caliente,* 5 *Refrigerador,* 6 *Regenerador,* 7 *Calentador*



Proceso cíclico teórico del motor Stirling en el diagrama *p-V y S-T*



Ejecución y comportamiento en marcha

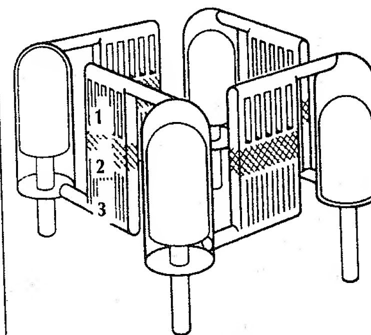
Los motores modernos trabajan como motores de doble efecto con 4 cilindros, por ejemplo, los cuales trabajan con el adecuado desfase. Cada cilindro posee sólo un émbolo, el cual actúa de émbolo de trabajo por su cara superior, y de émbolo de desplazamiento por su cara inferior. El refrigerador, el regenerador y el calentador están dispuestos entre los cilindros.

Con el fin de que la potencia por embolada no sea demasiado pequeña, se trabaja con elevadas presiones que varían de 50 a 200 bar para regular la carga. Cómo medio de trabajo deben utilizarse gases con bajas pérdidas de carga en circulación y elevado calor especifico (casi siempre hidrógeno). Ya que la totalidad del calor que hay que extraer del proceso se realiza en este caso a través del refrigerador y es cedido al aire circundante, los motores Stirling precisan de intercambiadores de calor notablemente más grandes que los motores de combustión interna.

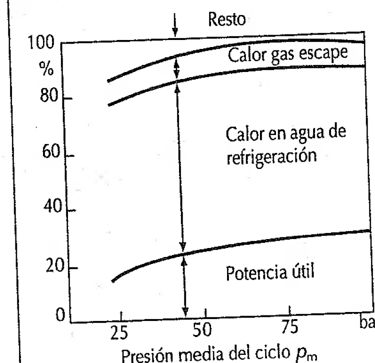
Ventajas del motor Stirling: Concentraciones muy bajas de las substancias tóxicas HC, CO y NOx ; marcha silenciosa sin los ruidos de la combustión: es posible la combustión de diversos combustibles (multicombustible); los consumos (en el diagrama característico) son parecidos a los de los motores diesel de inyección directa a igualdad de revoluciones.

Inconvenientes: Elevados costes de fabricación por la dificultad del sistema. Presiones de trabajo muy elevadas con potencias moderadas en relación al volumen/peso de la construcción; necesidad de regulación de carga muy elevada; gran superficie de refrigeración y, en su caso, necesidad de ventiladores potentes.

Motor Stirling de doble efecto
1 *Calentador,* 2 *Regenerador,* 3 *Refrigerador*



Balance calorífico del motor Stirling



Motor de émbolo rotatorio Wankel

Un tipo especial de motor alternativo de émbolos es el Wankel de émbolo rotatorio, en el cual el mecanismo de empuje por cigüeñal se substituye por una excéntrica y un rodete que se mueve en forma de trocoide en un espacio que forma la cámara de trabajo.

El émbolo del motor de émbolo rotatorio tiene en sección la forma de un triángulo de lados convexos. Se mueve en un alojamiento refrigerado por agua cuyo espacio interior forma una curva ovalada ligeramente estrechada por el centro (epitrocoide). Las tres aristas del émbolo al girar siguen, continuamente, la pared del alojamiento, de forma que constituyen tres espacios de trabajo desplazados 120°, que periódicamente se hacen más grandes y más pequeños, y que están separados y cerrados entre sí, denominados A, B y C. En cada uno de esos espacios tiene lugar durante una revolución del émbolo un ciclo Otto de cuatro tiempos, es decir, después de una vuelta completa del émbolo triangular alrededor de sí mismo, el motor realiza tres veces el ciclo completo de los cuatro tiempos, y el eje de la excéntrica da tres vueltas.

En las aristas y en las caras laterales del émbolo van elementos de estanqueidad. Concéntricamente con el émbolo se encuentra una rueda de dentado interior y el cojinete de la excéntrica del eje motor. La rueda de dentado interior gira accionada por otra rueda dentada concéntrica con el eje de la excéntrica y fijada lateralmente en el cuerpo. El dentado no sirve para la transmisión de fuerza sino únicamente para mantener el émbolo en fase con las rotaciones del eje de la excéntrica y para que vaya rotando en el recorrido trocoidal.

Los números de dientes de ambos dentados están en la relación de 3:2. El émbolo gira con dos tercios de la velocidad angular del eje y, con relación a éste, en sentido contrario, de forma que la velocidad relativa del émbolo respecto al alojamiento es sólo un tercio de la velocidad angular del eje.

El intercambio de gas se autorregula por el émbolo a través de unas simples lumbreras. En vez del canal de admisión dispuesto en el circuito de la trocoide (admisión por la periferia), la admisión también se puede realizar a través de unas aberturas en las carcasas laterales (admisión lateral).

Al no existir secciones estrechas y masas oscilantes, se obtienen mayores velocidades del gas y mayor número de revoluciones. Todo motor de émbolo rotatorio puede equilibrarse perfectamente mecánicamente. Sólo queda la falta de uniformidad de la fuerza de giro inherente a todos los motores de combustión. No obstante, el esfuerzo de rotación de un motor de émbolo rotatorio es mucho más uniforme que la de un motor de un cilindro, por los ciclos de trabajo que se realizan sobre los 270° del eje de la excéntrica. El grado de irregularidad y con ello el funcionamiento redondo, se puede mejorar adicionalmente disponiendo varios émbolos en un mismo eje. Un motor de émbolo rotatorio triple, corresponde, en este aspecto, a un motor de ocho cilindros. El desarrollo del par motor puede ajustarse, según el tiempo de regulación y la sección de aspiración, a las características de un motor estrangulado o a las de un motor deportivo.

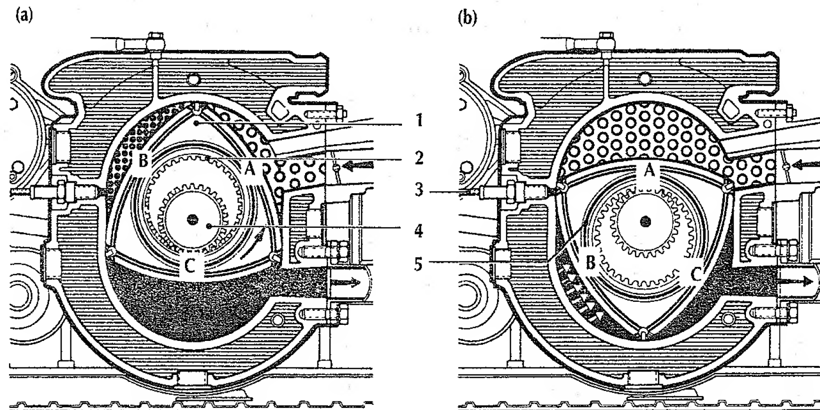
Ventajas del motor de émbolo rotatorio: Equilibrio completo de masas; desarrollo más favorable del par de giro, construcción compacta, ausencia de accionamientos de válvulas, muy buen comportamiento en marcha.

Inconvenientes: Desfavorable forma de la cámara de combustión con largas carreras de combustión; elevada emisión de HC; mayor consumo de combustible y de aceite, mayores costes de fabricación; no es posible ningún motor diesel; la posición elevada del eje de cesión de fuerza es desfavorable.

Montaje y funcionamiento del motor de émbolo rotatorio Wankel

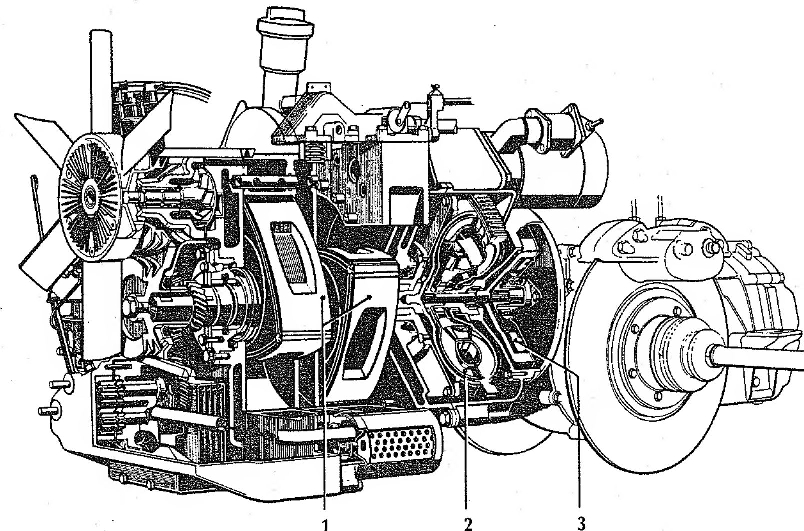
1 *Émbolo,* **2** *Dentado en el interior del émbolo,* **3** *Bujía,* **4** *Piñon fijo,* **5** *Superficie de rodadura de la excéntrica*

(a): *Lá cámara A aspira, la cámara B comprime, de la cámara C escapan los gases quemados. (El paso del gas, en el estrechamiento de la trocoide, se posibilita por medio de canales o ranuras en los flancos del émbolo.)* **(b)**: *La cámara A está llena de gas nuevo; en la cámara B se expanden los gases en combustión y hacen girar el eje de la excéntrica por medio del émbolo; de la cámara C siguen saliendo los gases quemados La fase siguiente corresponde de nuevo a la parte "a" del dibujo, sólo que en vez de la cámara A se presenta la cámara C. El émbolo ha realizado pues un tercio de giro (120°) de sus tres lados, todo el proceso de los cuatro tiempos, por lo que el eje excentrico ha dado para ello una vuelta completa*



Ejecución de un motor de émbolo rotatorio doble

1 *Émbolo rotatorio,* **2** *Convertidor hidráulico del par motor,* **3** *Embrague automático*



Turbina de gas

En la turbina de gas se suceden los distintos cambios de estado del proceso cíclico pero en componentes separados físicamente unos de otros (compresor, cámara de combustión, turbinas), los cuales están unidos entre sí por medio de las piezas que conducen el flujo (difusores, espirales, etc.). Por ello los cambios de estado discurren de forma continua.

Funcionamiento, proceso comparativo y rendimiento

En las turbinas de gas para vehículos, el aire aspirado continuamente a través del filtro y un silenciador se comprime por lo general en un compresor radial y a continuación se recalienta más en un intercambiador de calor. En las actuales turbinas de gas para vehículos se realiza esto casi siempre en un regenerador rotatorio.

El aire comprimido y precalentado fluye entonces a la cámara de combustión, donde se calentará directamente por inyección y combustión de combustibles gaseosos, líquidos o emulsionados. Luego, la energía de los gases comprimidos y calentados se transmite a una, dos o tres etapas de turbina en uno a tres tramos de eje. Las turbinas de flujo radial o axial accionan en primer lugar el compresor y los aparatos auxiliares y transmiten la potencia restante al eje cardán a través de la turbina de trabajo, los engranajes reductores y los del cambio.

Para disminuir el consumo a carga parcial y en vacío, así como para mejorar el comportamiento en la aceleración, la turbina de trabajo está provista, por lo general, de paletas conductoras regulables. Para ello, en la máquina de un árbol es necesario poder regular la zona del reductor.

Los gases enfriados parcialmente en la turbina por efecto de la expansión, fluyen por el lado del gas del intercambiador de calor, donde ceden al aire la mayor parte de su calor residual. A continuación se expulsan al canal de escape, pudiendo ceder todavía calor a la calefacción del vehículo.

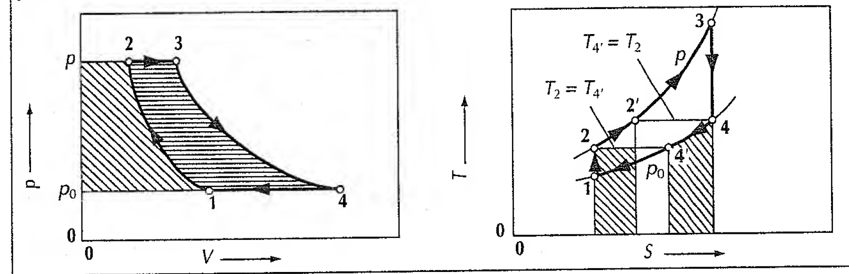
El rendimiento térmico y, con ello, el consumo de combustible del accionamiento por turbina de gas, depende fundamentalmente de la temperatura de trabajo máxima admisible (temperatura de salida de la cámara de combustión). Las aleaciones altamente refractarias, conseguidas a base de cobalto o níquel, permiten unos consumos de combustible que no son comparables con los de ningún motor de émbolos actual. Sólo el paso a materiales cerámicos puede llevar a consumos de combustible comparables o mejores.

El proceso termodinámico comparativo para la turbina de gas es el proceso a presión constante o proceso Joule. Consta de una compresión isoentrópica (1→2), un calentamiento isóbaro (2→3), una expansión isoentrópica (3→4) y un desprendimiento de calor isóbaro (4→1). Sólo se pueden conseguir pues buenos rendimientos térmicos si la aportación de calor en la elevación de temperatura de T_2 a $T_{2'}$, está ajustada a la extracción de calor (4→4') por medio de un intercambiador

Temperaturas de trabajo características (orden de magnitudes) en distintos puntos en turbinas de gas para vehículos, metálicas y cerámicas, a plena carga

Punto de medición	Turbina metálica	Turbina cerámica
Salida del compresor	230 °C	250 °C
Salida intercambiador de calor (lado aire)	700 °C	950 °C
Salida de la cámara de combustión	1000 °C ... 1100 °C	1250 °C ... 1350 °C
Entrada al intercambiador (lado gas)	750 °C	1000 °C
Salida intercambiador del calor	270 °C	300 °C

Proceso termodinámico comparativo en el diagrama p-V y T-S



de calor. Para un intercambio completo de calor, la cantidad de calor que hay que aportar, por unidad de masa, se reduce a:

$$q_{zu} = c_p \cdot (T_3 - T_{2'}) = c_p \cdot (T_3 - T_4)$$

y el calor que hay que descargar es:

$$q_{ab} = c_p \cdot (T_{4'} - T_1) = c_p \cdot (T_2 - T_1).$$

El rendimiento térmico máximo para la turbina de gas con intercambiador de calor es:

$$\eta_{th} = 1 - Q_{ab}/Q_{zu} = 1 - (T_2 - T_1)/(T_3 - T_4)$$

con $p_2/p_1 = (T_2/T_1)^{\frac{x}{x-1}} = (T_3/T_4)^{\frac{x}{x-1}}$

y $T_4 = T_3 \cdot (T_1/T_2)$ se deduce que

$$\eta_{th} = 1 - (T_2/T_3)$$

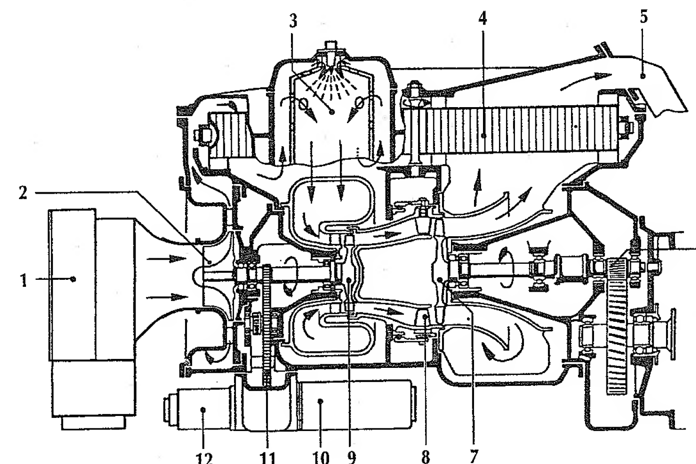
Con mecanismos de propulsión bien realizados ya se consiguen hoy en día rendimientos térmicos del 35%.

Ventajas de la turbina de gas: Valores favorables para las emisiones sin dispositivos adicionales, marcha extremadamente silenciosa, posibilidad de combustibles múltiples, marcha favorable del par de giro estacionario, largos intervalos de mantenimiento.

Inconvenientes: Hasta la fecha elevados costos de fabricación, comportamiento de reacción desfavorable, consumo de combustible más elevado, menos apropiado para el campo de bajas potencias

Turbina de gas

1 Filtroy silenciador, 2 Compresor radial, 3 Cámara de combustión, 4 Intercambiador de calor, 5 Canal de gases de escape, 6 Engranage reductor, 7 Turbina de trabajo, 8 Paletas conductoras regulables, 9 Turbina compresora, 10 Arranque, 11 Accionamiento de los aparatos auxiliares, 12 Bomba de aceite de engrase



Refrigeración del motor

Refrigeración por aire

El aire de refrigeración se dirige mediante la presión dinámica o un ventilador contra las paredes exteriores muy nervadas del cilindro. Su cantidad se puede regular, por ejemplo, por estrangulación o bien por la regulación del número de revoluciones en función de la carga o de la temperatura. El consumo de potencia se sitúa entre el 3 y el 4% de la potencia del motor. Mediante las correspondientes medidas de amortiguamiento del ruido se mantienen a sus valores correctos tanto los ruidos molestos como la constancia de la temperatura del motor equivalente a la de los motores refrigerados por agua. El calor tomado del aceite del motor se disipa en enfriadores de aceite refrigerados por aire dispuestos convenientemente en la corriente de aire frío.

Refrigeración por agua

La refrigeración por agua se ha impuesto ampliamente tanto para turismos como para vehículos industriales.

Como medio de refrigeración, en vez de agua pura se utiliza hoy día exclusivamente una mezcla de agua de calidad potable, anticongelante (principalmente etilenglicol) e inhibidores específicos para los diferentes casos. El anticongelante eleva la temperatura de ebullición de la mezcla en un 30 a 50 % y permite, en automóviles, temperaturas del medio de refrigeración de hasta 120 °C a una presión de 1,4 bar (figura circuito de refrigeración, pág. 398).

Tipos de radiadores y sus materiales

En los radiadores modernos para turismos se utilizan casi siempre bloques de radiador de aluminio; también en los vehículos industriales se imponen cada vez más los bloques de aluminio. Básicamente hay dos ejecuciones: radiadores de soldadura fuerte y de unión mecánica.

Para la refrigeración de motores de mucha potencia, o disponiendo de poco espacio, deben utilizarse sistemas de tubos planos de alto rendimiento/de aletas onduladas con una resistencia favorable al paso del aire.

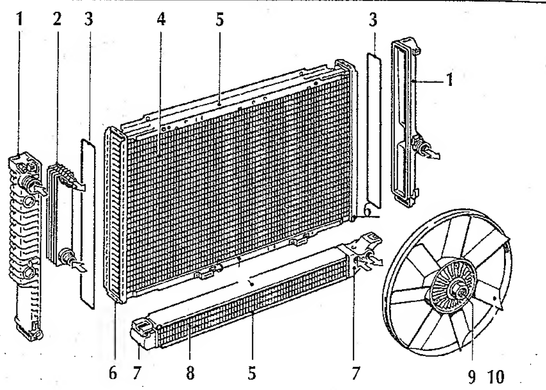
En motores de menor potencia, o de requerimientos menores a las dimensiones compactas, se utilizan preferentemente los sistemas más económicos de aletas de tubos unidos mecánicamente.

El conjunto de radiadores de líquido de refrigeración, unidos mecánicamente, consta de tubos redondos u ovalados y de aletas estampadas colocadas encima de ellos. Las aletas están onduladas y/o provistas de hendiduras transversales a la dirección del aire.

En ambos radiadores para mejorar la transmisión del calor desde el lado del líquido refrigerante (es decir dentro de los tubos), en cuanto lo permita la pérdida de presión admitida se utilizan unos elementos que originan turbulencias. En el lado del aire de refrigeración hay unas aberturas y ondulaciones en las aletas de refrigeración para mejor transmisión del calor.

Instalación de refrigeración para automóviles

1 *Caja del radiador*
2 *Refrigerador del aceite de la caja de cambios*
3 *Junta*
4 *Radiador del líquido de refrigeración*
5 *Parte lateral*
6 *Fondo*
7 *Caja de aceite*
8 *Radiador del aceite de motor*
9 *Embrague VISCO®*
10 *Ventilador de la camisa refrigerante*



Las cajas del radiador, las cuales garantizan la distribución del líquido de refrigeración por todo el bloque, son de poliamida con refuerzo de fibra de vidrio. Son de inyección de una sola pieza con todos los elementos de sujeción y de conexión. La unión con el bloque del refrigerador se efectúa mediante rebordeado.

Concepción de los radiadores

Los radiadores deben ceder con fiabilidad al ambiente circundante, bajo todas las condiciones posibles de funcionamiento y entorno, el calor producido por el motor. La determinación del tamaño del radiador se hace de forma empírica, es decir, comparando el rendimiento del radiador con radiadores de referencia del mismo tipo o bien mediante cálculos de ecuaciones de correlación, obtenidas en ensayos, de la transmisión del calor y de la pérdida de presión de la corriente de flujo.

Además de una refrigeración fiable, son metas importantes en la concepción del radiador un consumo reducido de energía del ventilador y una resistencia al aire reducida del vehículo. Una gran importancia se le concede al volumen del caudal de aire de refrigeración, pues un ventilador más potente con mayor consumo de energía lleva a un radiador más pequeño y viceversa. Además, el gradiente de temperatura del líquido refrigerante/ambiente debería ser el más alto posible, lo cual sin embargo requiere una maximización de la temperatura del líquido refrigerante y su sobrepresión correspondiente.

Regulación de la temperatura del medio refrigerante

Un motor de un vehículo trabaja con condiciones climáticas muy diferentes y con cargas del motor de mucha variación. Para poder obtener una temperatura constante del líquido de refrigeración, y con ello del motor, dentro de unos límites muy próximos, se regula la temperatura del líquido de refrigeración. Se recomienda la instalación de un regulador de temperatura de materiales de dilatación, independiente de las variaciones de presión del sistema de refrigeración. Este acciona una válvula que hace pasar por fuera del radiador el líquido de refrigeración en volumen creciente a medida que baja la temperatura del líquido de refrigeración. De este modo se reduce el desgaste y consigue una temperatura de funcionamiento constante, un buen rendimiento de calentamiento y una favorable composición de los gases de escape.

Recipiente de compensación del líquido de refrigeración

El recipiente de compensación del líquido de refrigeración permite la eliminación segura de los gases, evitándose así la cavitación en el sistema de refrigeración, la cual se produce en el lado de succión de la bomba. El volumen de aire en el recipiente de compensación debe ser tal que permita, al calentarse y dilatarse el líquido refrigerante, un rápido aumento de la presión y evite la expulsión de dicho líquido en una posterior ebullición.

Los recipientes de compensación mayormente son de plástico (polipropileno) inyectado, o —en formas sencillas— soplado. El recipiente y la cubeta de agua pueden estar integrados o unidos por bridas o enchufados. Sin embargo el recipiente también puede colocarse en otros sitios.

La posición o la forma del manguito de llenado limita el llenado evitando que sea excesivo. Para el control del nivel de llenado, el recipiente posee una mirilla o un avisador electrónico del nivel. Sin embargo el recipiente también puede ser de material plástico de color natural y transparente. Pero el polipropileno incoloro no resiste los rayos ultravioleta; por ello no debe ser expuesto a la radiación solar directa.

Ventilador de aire de refrigeración

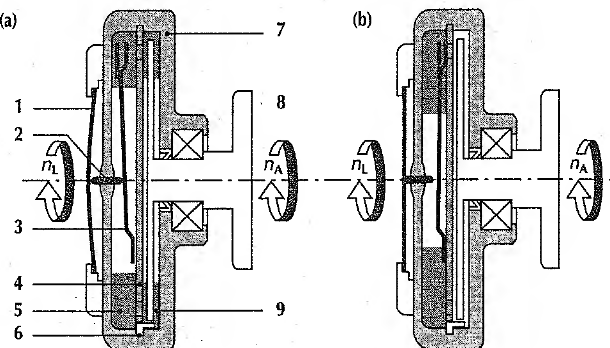
Puesto que en los automóviles se tienen que obtener altos rendimientos de refrigeración incluso a velocidades reducidas, el radiador ha de tener ventilación forzada. En los automóviles se acostumbra usar ventiladores de una sola pieza de plástico inyectado y en los vehículos industriales mayormente ventiladores con palas de chapa unidas por remaches o bien ventiladores de plástico cuyas potencias de accionamiento llegan a los 15 W. Los ventiladores de menos potencias son accionados casi siempre eléctricamente. A pesar de que estos ventiladores están concebidos para hacer poco ruido, según se seleccione la forma y distribución de sus

palas, el nivel de emisión de ruido es notable debido al número constante alto de revoluciones. A partir de tamaños de turismo medianos ya resulta caro el accionamiento eléctrico del ventilador y entonces se acciona por el motor a través de correas trapezoidales, y en los camiones grandes incluso se montan directamente sobre el eje del cigüeñal sin elementos intermedios. Hay que prestar especial atención a la regulación del ventilador. Cuando la presión dinámica del aire es suficiente o grande para la ventilación, según el tipo de vehículos y condiciones de marcha, el ventilador puede estar parado hasta el 95 % del tiempo, ahorrándose así el combustible que se necesitaría para moverlo. En los ventiladores eléctricos se utiliza para ello una regulación de 2 puntos, es decir, el ventilador sólo se conecta por medio de un termostato eléctrico cuando el medio refrigerante está por encima de una temperatura determinada. En los accionamientos mecánicos resulta útil, tanto en vehículos industriales como en turismos, el embrague VISCO® (acoplamiento por viscosidad). Consta fundamentalmente de tres grupos: el plato primario accionado, la parte secundaria impulsada y la regulación. La parte secundaria está dividida por un plato intermedio en dos espacios, uno de reserva y otro de trabajo, por los cuales circula el líquido de trabajo. El plato de accionamiento gira sin ninguna conexión mecánica dentro del espacio de trabajo. Su par de giro se transmite por rozamiento interno del líquido altamente viscoso y su adherencia a las paredes. Entre el accionamiento de entrada y el de salida se produce cierto resbalamiento. Un rascador que gira con la parte secundaria, lleva continuamente líquido al espacio de reserva, que fluye de nuevo al espacio de trabajo a través de la abertura de una válvula, por medio de la fuerza centrífuga. Al disminuir la temperatura ambiente, el dispositivo de regulación cierra esa válvula por medio de un bimetal, de manera que el líquido se concentra en el espacio de reserva y se vacía el espacio de trabajo. El arrastre queda desconectado por un tiempo indeterminado. Según la temperatura de la corriente de aire de refrigeración, en la que se encuentra el bimetal, éste regula el número de revoluciones de forma continua en todo el campo de regulación.

Refrigeración del aire de alimentación

La refrigeración del aire de alimentación reduce la carga térmica del motor y la temperatura de los gases de escape y con ello las emisiones de NOx y el consumo de combustible. Además, en el motor Otto se eleva el límite del picado. Básicamente la refrigeración del aire de alimentación se puede realizar por el medio refrigerante del motor o por el aire exterior. Habiendo un sistema con refrigeración de líquido de refrigeración, puede escogerse libremente la ubicación del radiador del refrigerador del aire de alimentación, siendo para ello también muy ventajoso el poco espacio necesario de

Embrague Visco
(a) *Embrague embragado*
(b) *Embrague desembragado*
1 *Bimetal*
2 *Tope de embrague*
3 *Palanca válvula*
4 *Disco intermedio*
5 *Espacio de reserva*
6 *Cuerpo de bomba*
7 *Cuerpo básico*
8 *Eje con plato acoplamiento*
9 *Espacio de trabajo*
n_A *Número de revoluciones impulsión*
n_L *Número de revoluciones ventilador*



los radiadores de líquido de refrigeración. El aire de alimentación, sin embargo, sin un circuito separado de refrigeración, solamente puede ser enfriado hasta cerca de la temperatura del líquido de refrigeración.

Por esto en los automóviles y en los vehículos industriales se ha impuesto la variante refrigerada por aire. Estos refrigeradores del aire de admisión pueden estar situados delante, al lado o encima del radiador del líquido de refrigeración, pero también en un lugar totalmente distinto. El refrigerador de aire de alimentación situado separadamente puede estar expuesto a la presión dinámica del aire o llevar un ventilador propio. En refrigeradores del aire de admisión colocados por delante del radiador con líquido refrigerante, se producen en parte dificultades. La ventaja de esta disposición reside en que a bajas velocidades del vehículo hay suficiente aire proveniente del ventilador. Una desventaja es el calentamiento del aire destinado a la refrigeración del radiador: dicho radiador tiene que ser dimensionado para un mayor rendimiento.

Los sistemas de tubos de aluminio de nervios ondulados, utilizados para los refrigeradores de aire de admisión, se parecen a los utilizados para los radiadores de líquido de refrigeración. En la práctica han resultado muy ventajosos los tubos anchos, con nervios interiores por motivos de rendimiento y de solidez. La densidad de las aletas en el lado del aire de admisión puede mantenerse baja, debido a la alta resistencia de transmisión de calor. El grado de intercambio Φ es de especial importancia en el refrigerador del aire de admisión, pues describe la relación de la refrigeración del aire de admisión al desnivel de temperaturas aire de admisión/aire de refrigeración:

$$\Phi = (t_{1E} - t_{1A})/(t_{1E} - t_{2E}$$

Donde son
Φ grado de intercambio
t_{1E} temperatura de entrada del aire de admisión,
t_{2A} temperatura de salida del aire de admisión,
t_{2E} temperatura de entrada del aire de refrigeración.

Para automóviles: Φ = 0,4 a 0,7; para vehículos industriales: Φ = 0,65 a 0,85.

Las cajas de aire son inyectadas, en lo posible, en una sola pieza de poliamida con refuerzo de fibra de vidrio, con todas las conexiones y elementos de sujeción ya incorporados. La unión con el bloque del radiador se efectúa con rebordeado. Cajas de aire con formas de cortes destalonados y aquellas para temperaturas altas, son fabricadas con fundición de coquilla de aluminio y solados sobre el bloque del radiador.

Refrigeración del aceite

Parte de la energía térmica perdida por el motor es absorbida por el aceite de lubricación, para cuya refrigeración, en los turismos, a menudo es suficiente la bandeja del cárter. Pero en los vehículos de mucha potencia a plena carga, hace falta un refrigerador para el aceite con el fin de no sobrepasar la temperatura máxima admisible del aceite.

Como refrigeradores del aceite de lubricación se utilizan principalmente radiadores aire/aceite de aluminio dispuestos al lado del radiador de líquido de refrigeración o separadamente. En colocación aparte éstos radiadores funcionan con la presión dinámica o con un ventilador. Los refrigeradores del aceite constan de un sistema de tubos planos ondulados con alta densidad de rendimiento o de un sistema de tubos redondos con aletas planas. En el sistema de tubos planos, a causa de la alta presión interna, son obligatorios dispositivos interiores para turbulencias.

Como radiadores con medio de refrigeración del aceite de lubricación de automóviles se utilizan discos redondos de acero fino o tubos de aluminio en forma de horquilla. Los radiadores de discos redondos poseen un cárter propio y se montan entre el bloque del motor y el filtro de aceite. Los radiadores de tubos de horquilla no tienen cárter y por ello pueden colocarse dentro del armazón del filtro o en la cubeta del aceite.

Allí donde se precise solamente una reducida capacidad de enfriamiento (p.ej. en cambios automáticos) se emplean en automóviles y camiones radiadores de tubos dobles de cobre/latón o radiadores de tubos planos de aluminio, incorporados

en la caja de salida del radiador de líquido de refrigeración.

En vehículos industriales de mucha potencia va un radiador de aceite/aire que se encarga de la refrigeración del aceite de la caja de cambios. Este radiador esta situado delante del radiador de líquido de refrigeración para permitir una buena ventilación.

Para la refrigeración del aceite lubricante en vehículos industriales mayormente se emplean paquetes de discos de acero fino ubicados en un canal de líquido refrigerante ampliado; en el mejor de los casos sin cárter ni clase alguna de conducciones.

Instalación de aire

Filtros de aire

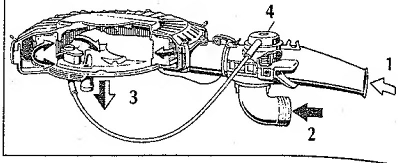
Los filtros de aire retienen el polvo contenido en el aire aspirado, evitando que entre en el motor y con ello éste se desgaste por abrasión.

El contenido de polvo del aire asciende en promedio en las carreteras pavimentadas a 0,001 g/m³; en carreteras sin firme o en obras, el contenido de polvo llega hasta 0,04 g/m³. Un motor de tamaño mediano (de un consumo de combustible de 12 l/100 km) aspiraría pues por cada 1000 km recorridos y según las condiciones de la carretera o según el tipo de utilización, de 1 g a 50 g de polvo.

Filtros de aire para turismos

Los filtros de aire para turismos, además de filtrar, tienen la misión de precalentar la

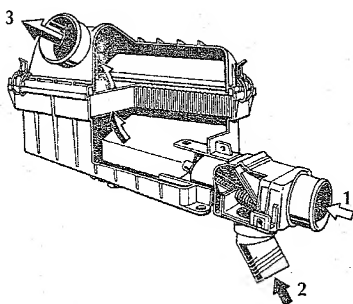
Filtro central para automóviles
1 *Entrada aire frío,* 2 *Entrada aire caliente,* 3 *Salida mezcla aire caliente/aire frío,* 4 *Cápsula manométrica*



temperatura del aire aspirado, regular la aspiración y amortiguar el ruido de la misma. La regulación de la temperatura del aire aspirado es importante para el comportamiento en servicio del vehículo y para la composición de los gases del escape. Las temperaturas pueden ser diferentes a plena carga y a carga parcial.

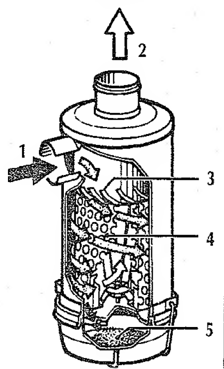
El aire caliente necesario se toma cerca del tubo de escape, y el aire frío aspirado a la entrada del filtro se introduce por medio de un mecanismo de mariposa. La regulación se realiza principalmente automáticamente ya sea por medio de un recipiente de presión accionado neumáticamente por la depresión de la aspiración o por medio de sensores bimetálicos. La temperatura del aire de aspiración regulada, y por tanto constante, influye favorablemente en la potencia del motor por la mejor preparación y distribución de la mezcla aire-combustible en el consumo y en la composición de los gases de escape. Además, por medio del precalentamiento del aire aspirado, se acorta la fase de calentamiento después de la puesta en marcha del

Filtro guardapolvo para automóviles
1 *Entrada aire frío,* 2 *Entrada aire caliente,* 3 *Salida mezcla aire caliente/aire frío*



Filtro de papel con ciclón, para vehículo industrial

1 *Entrada de aire,*
2 *Salida de aire,*
3 *Paletas conductoras del ciclón,*
4 *Cartucho filtrante,*
5 *Recipiente de recogida del polvo*



motor, especialmente con temperaturas exteriores muy bajas, y se evita la congelación del carburador.

Los filtros de aire para turismos son principalmente de papel, que tienen un alto poder separador independiente de la carga. Los cartuchos de papel se cambian con facilidad según los intervalos de mantenimiento fijados por el fabricante del vehículo. Para cada motor deben emplearse los filtros prescritos a fin de optimizar la potencia, el consumo, la temperatura del aire de aspiración y la amortiguación de ruidos.

Filtros de aire para vehículos industriales

Como filtro de aire para vehículos industriales se utilizan los de papel y los de baño de aceite. La característica de los filtros de aire de papel es su elevado poder separador en toda la gama de cargas, y la elevación de la resistencia al paso que producen al irse tapando por el polvo. En el filtro de aire de papel se incorpora un ciclón separador previo directamente dentro de la carcasa, con lo que se ahorra espacio. Esta combinación de ciclón y filtro de aire de papel es la que se utiliza preferentemente hoy en día. El mantenimiento se realiza por substitución del cartucho filtrante y vaciado del recipiente del polvo.

El momento del cambio del filtro de aire de papel suele venir indicado en el cuadro de mantenimiento.

Para esto hay que tener en cuenta los datos del fabricante del vehículo o del aparato. Para simplificar el mantenimiento, y según la fuerza de la pulsación de aire del motor, se pueden utilizar válvulas de descarga de polvo al exterior especialmente seleccionadas.

Los ciclones sirven para alcanzar la duración y los intervalos de mantenimiento. El aire se pone en rotación por medio de unas palas conductoras, con lo que una gran parte del polvo se separa antes de llegar el aire al filtro. Los ciclones se pueden instalar antes de los filtros de aire de papel o de los filtros de aire en baño de aceite. Como filtro único no resultan apropiados para motores porque su poder de separación no es suficiente. Norma correspondiente: DIN 71 459.

Amortiguación del ruido de la aspiración

El ruido de la aspiración de los filtros de aire para turismos y vehículos industriales tiene que amortiguarse para cumplir las prescripciones legales sobre el ruido total del vehículo. La amortiguación se realiza casi exclusivamente por la conformación del filtro de aire como amortiguador del sonido por reflexión con la forma especial del resonador de Helmholtz (ver pág. 433).

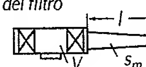
Con un dimensionado amplio (como valor empírico bueno para los motores de cuatro tiempos rige el de 15 a 20 veces la cilindrada de un cilindro) se consigue por lo general un amortiguamiento del ruido de la aspiración de 10 a 20 dB(A). En casos especiales, en los cuales se presentan frecuencias muy perturbadoras, hay que introducir amortiguadores adicionales.

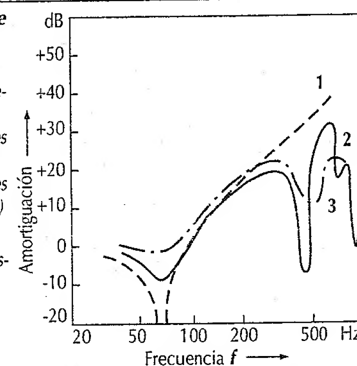
La resonancia de un amortiguador de la aspiración viene dada por

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A_m}{l \cdot V}}$$

Amortiguación del ruido de la aspiración. Desarrollo de la amortiguación de un amortigador de la aspiración
Resonancia del amortiguador f_0 = 66 Hz
1 *Desarrollo teórico de la amortiguación sin tener en cuenta la resonancia del tubo*
2 *Desarrollo de la amortguación medido para pequeñas densidades de energía del ruido, sin nivel constante (medición con altavoz)*
3 *Desarrollo de la amortiguación medida para elevadas densidades de energía del ruido con nivel constante (medición en el motor)*

Filtro de aire con tubo de aspiración
l Longitud del tubo de aspiación, s_m sección media del tubo de aspiración,
V Volumen del filtro





donde:
c es la velocidad del sonido en el aire
l la longitud del tubo de aspiración
A_m la sección media del tubo de aspiración y
V el volumen del filtro.

Aparatos de sobrealimentación para motores de combustión

(Autoalimentación)

Los aparatos de sobrealimentación para motores de combustión elevan por compresión la cantidad de aire necesaria para la combustión del combustible, manteniendo constante la cilindrada y el número de revoluciones del motor, con lo cual facilitan una mayor densidad de potencia. Los aparatos de sobrealimentación para motores de combustión se denominan generalmente "compresores". Se distingue entre compresor mecánico, turbocompresor de gases de escape y compresor de onda de presión.

La potencia de compresión necesaria en los compresores mecánicos procede del cigüeñal del motor (acoplamiento mecánico motor/compresor). En los turbocompresores de gases de escape se obtiene la potencia de compresión de los gases de escape (acoplamiento fluídico motor/compresor).

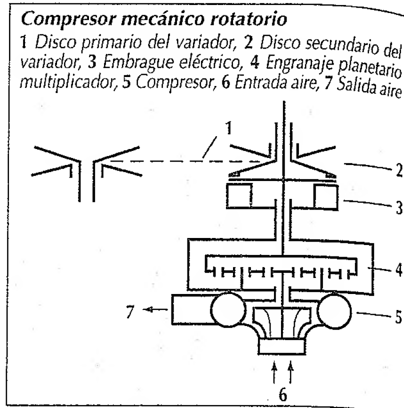
En los compresores de onda de presión la potencia también procede de los gases de escape, pero mediante un aparato de transmisión mecánico requerido adicionalmente (acoplamiento mecánico y fluídico).

Compresores mecánicos

En los compresores mecánicos se distingue entre compresores mecánicos rotatorios (MKL) y compresores mecánicos de desplazamiento (MVL).

El compresor del tipo MKL, según la construcción de corriente, corresponde al tipo constructivo del compresor turbo de gases de escape. Obtiene rendimientos muy altos y para un volumen dado de caudal presenta el menor volumen constructivo. Pero debido a las altas velocidades circunferenciales requeridas, los números de revoluciones de accionamiento son muy altos. Puesto que el número de revolu-

Compresor mecánico rotatorio
1 Disco primario del variador, 2 Disco secundario del variador, 3 Embrague eléctrico, 4 Engranaje planetario multiplicador, 5 Compresor, 6 Entrada aire, 7 Salida aire



ciones inicial del disco secundario (relación de reducción al disco primario 2:1) no es suficiente para el funcionamiento, se utiliza un engranaje planetario con una reducción de 15:1, para alcanzar la velocidad circunferencial necesaria del compresor. Para obtener una relación de presiones casi constante con una amplia variedad de caudales de corriente de fluido (~ número de revoluciones del motor), se tiene que utilizar además un variador de las revoluciones. Las aplicaciones del MKL se limitan a motores medianos y grandes del tipo diesel y Otto para automóviles, debido a las altas revoluciones necesarias y las limitaciones técnicas de la posibilidad de transmisión de la potencia de accionamiento. Este tipo constructivo de compresores no se ha impuesto hasta ahora en los compresores mecánicos.

Los compresores del tipo de desplazamiento (MVL) trabajan con compresión interna o sin ella. Entre los primeros figuran el de émbolo de empuje, el de tornillo y el de aletas y entre los que trabajan sin compresión interna, el compresor de Roots.

Todos los compresores mencionados del tipo de desplazamiento presentan las mismas características generales, que a modo de ejemplo se representan en el diagrama característico de un compresor Roots.

– Las curvas de número de revoluciones n_{LAD} = const en el diagrama característico $p_2/p_1 - \dot{V}$ tienen mucha pendiente, es decir, el volumen circulante $\dot{V}$ sólo decrece muy poco al aumentar la relación de compresión p_2/p_1. El tamaño del descenso del volumen circulante depende principalmente de las pérdidas por huelgo (pérdidas de corriente de retroceso) que son función de la relación de compresión p_2/p_1 y del tiempo, pero no del número de revoluciones. De ello se deduce directamente que:
– la relación de compresión p_2/p_1 es independiente del número de revoluciones, es decir, incluso con pequeños caudales se puede conseguir una elevada relación de compresión,
– el caudal $\dot{V}$ es independiente de la relación de compresión y prácticamente directamente proporcional al número de revoluciones.
– no hay ningún campo inestable de trabajo. El compresor del tipo de desplazamiento es, en general, utilizable en todo el campo dado del diagrama característico $p_2/p_1 - \dot{V}$.

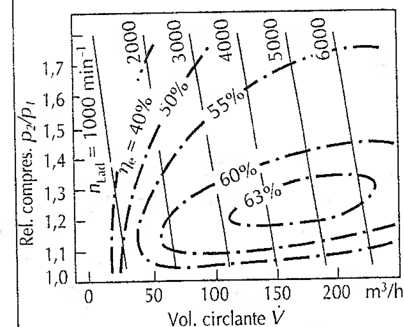
Los dos rotores compresores del **compresor Roots** giran de frente en una caja ovalada en sentidos contrarios y sin tocarse. La magnitud del intersticio que existe viene determinada por la construcción, el material elegido y las tolerancias admisibles. La sincronización de ambos rotores se realiza por medio de un par de ruedas dentadas que giran fuera de la cámara de trabajo.

En los **compresores de aletas** giran tres aletas centradas en la caja accionadas por un rotor excéntrico. La excentricidad facilita una compresión interior cuya magnitud para una excentricidad dada se puede variar mediante la posición de la arista de salida A de la carcasa.

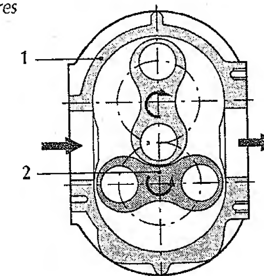
En el **compresor espiral** éste está montado excéntricamente y a un lado del cuerpo, de tal forma que al girar el eje de accionamiento, realiza un movimiento circular oscilante de doble excentricidad. Con ello, las cámaras de trabajo se abren por fases para el llenado, se cierran para el transporte y se vuelven a abrir para impulsar en el cubo. Es posible la compresión interna por alargamiento de las espirales sobre el perfil representado.

La regulación del movimiento del compresor se realiza por medio del eje secundario engrasado y accionado por correas dentadas. Los cojinetes del eje de accionamiento son lubricados por el circuito de

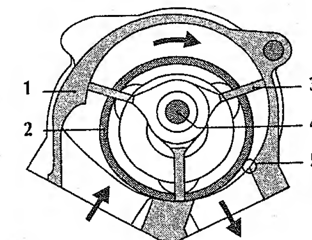
Diagrama característico de un compresor Roots



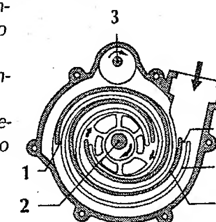
Sección de un compresor Roots
1 Caja, 2 Rotores



Sección de un compresor con aletas
1 Caja, 2 Rotor, 3 Aletas, 4 Perno, 5 Arista de salida A



Sección de un compresor espiral
1 Entrada aire en segunda cámara de trabajo
2 Eje accionam.
3 Accionam. del compresor
4 Entrada aire a primera cámara de trabajo
5 Cuerpo
6 Compresor



aceite del motor. La estanqueidad se obtiene radialmente por ranuras, y axialmente por medio de juntas colocados frontalmente.

El **compresor de émbolo rotatorio** es una máquina de émbolo rotatorio de eje interno. El rodete interior accionado (émbolo rotatorio) gira excéntricamente en el rodete cilíndrico exterior. La relación entre los rodetes compresores del émbolo rotatorio es de 2:3 o de 3:4. Los rodetes giran en sentido contrario entre sí y sin contacto con la carcasa alrededor de ejes fijos. A consecuencia de la excentricidad se puede captar el volumen máximo (cámara I), comprimirlo y trasladarlo (cámara III). La posición de la arista de salida A determina la magnitud de la compresión interna.

La sincronización entre los rotores interior y exterior se efectúa por medio de un par de ruedas dentadas rectas. Éstas y los cojinetes de los rodetes van con engrase permanente. Los rotores interior y exterior hacen junta por contacto y normalmente están recubiertos. Aros de pistón separan el espacio de trabajo del espacio del engranaje.

Normalmente el motor de combustión acciona al compresor mediante correas (trapezoidales, dentadas). El acoplamiento se efectúa o directámente (funcionamiento continuo) o por un embrague (p.ej. embrague magnético, funcionamiento discontinuo, por conexión). La relación de transmisión puede ser constante o variable en el campo de revoluciones del motor.

Compresores mecánicos de desplazamiento (MVL) requieren para un volumen dado un volumen constructivo notablemente mayor que los compresores mecánicos rotatorios (MKL). El MVL se utiliza principalmente para motores pequeños y medianos de automóviles, puesto que para éstos todavía es aceptable la relación entre volumen circulante y volumen constructivo.

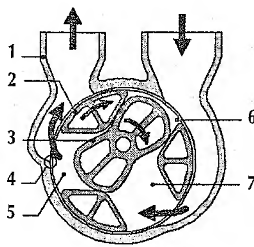
Turbocompresor de gases de escape

El turbocompresor de gases de escape (ATL) consta de dos máquinas de fluido: una turbina y un compresor, incorporados a un eje común. La turbina aprovecha la energía contenida en el gas de escape para accionar el compresor, que aspira aire fresco y comprime en el cilindro el aire previamente comprimido. El turbocompresor de gases de escape sólo está unido al motor por acoplamiento fluídico (corrientes de aire y de gases de escape). Su número de revoluciones no depende de las del motor, sino del equilibrio de potencia entre la turbina y el compresor.

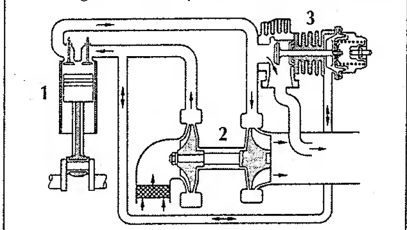
Los turbocompresores de gases de escape se utilizan en motores grandes (barcos y locomotoras, generadores eléctricos estacionarios), en motores de camiones y en motores de turismos.

La evolución típica de las curvas de funcionamiento del motor en estos casos viene representada en el diagrama característico del compresor independiente del tamaño. En el mismo, el límite de la bomba separa la zona de funcionamiento estable, a la derecha del límite de la bomba, de la zona inestable. Se reconoce que la zona inestable no perturba si se ha escogido bien el turbocompresor, ya que todos los casos de utilización, a plena carga y también a carga parcial del compresor se encuentran por debajo de las curvas de funcionamiento del motor.

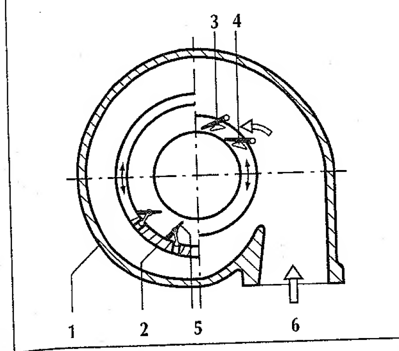
Sección de un compresor de émbolo rotatorio
1 *Cuerpo*
2 *Rodete exterior*
3 *Rodete interior*
4 *Borde de salida A*
5 *Cámara III*
6 *Cámara II*
7 *Cámara i*



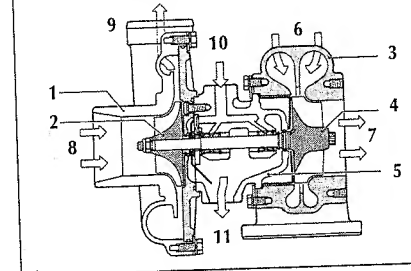
Regulación de la presión de alimentación con válvula de regulación de la presión dispuesta en el lado del gas de escape
1 *Motor,* **2** *Turbocompresor de gases de escape,* **3** *Válvula de regulación de la presión de sobrealimentación*



Forma variable de la turbina (esquema)
1 *Cuerpo de la turbina,* **2** *Anillo de ajuste,* **3** *lEvas de ajuste,* **4** *Palas giratorias,* **5** *Palas giratorias con palanca de ajuste,* **6** *Entrada aire*



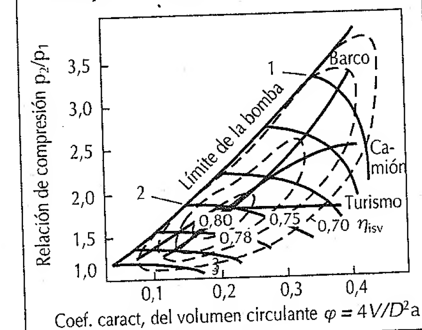
Turbocompresor de gases de escape para camión con cuerpos de fluido gemelos
1 *Cuerpo del compresor,* **2** *Rodete del compresor,* **3** *Cuerpo de la turbina,* **4** *Rotor,* **5** *Alojamiento cojinetes,* **6** *Entrada gases de escape,* **7** *Salida gases de escape,* **8** *Aire fresco atmosférico,* **9** *Aire fresco precomprimido,* **10** *Entrada del aceite,* **11** *Retorno del aceite*



Los diferentes casos de utilización exigen diferentes formas constructivas. Por supuesto que prácticamente todos los turbocompresores de gases de escape tienen las mismas partes importantes. El rodete y el alojamiento de los cojinetes, que juntos componen el cuerpo central del compresor, así como también el cuerpo del compresor. Los distintos casos de aplicación son los que originan las diferencias en las demás partes, en el alojamiento de la turbina y, dado el caso, en los órganos de regulación.

Tanto en el lado de la tubería como del compresor se colocan aros de pistón que estancan el compartimiento de aceite de la caja del cojinete respecto al aire y los gases de escape. En casos especiales se mejora la estanquidad con aire de bloqueo o con un cierre mecánico. Como cojinetes predominan los de deslizamiento, en ejecución radial o bien de dos casquillos flotantes o de casquillo simple no giratorio y ejecución axial de cojinetes de superficie de cuñas múltiples. La lubricación se efectúa mediante la conexión del ATL al circuito del aceite del motor. La admisión y la salida de aceite están situadas entre los cuerpos del compresor y de la turbina. En los casos normales el cuerpo de cojinetes no tiene refrigeración adicional. Las temperaturas rebajan a valores no críticos mediante una pantalla térmica así como también con separación del acoplamiento del cuerpo caliente de la turbina del cuerpo de los cojinetes y con medidas constructivas apropiadas en el cuerpo mismo de cojinetes. Para temperaturas de gases de escape superiores a 850 °C hay cuerpos de cojinetes refrigerados por agua. La pared trasera del compresor cierra al cuerpo de cojinetes hacia el compresor.

Diagrama característico de compresor independiente del tamaño con las curvas típicas de trabajo del motor



El cuerpo de los compresores radiales suele ser de fundición de aluminio. En casos particulares de aplicación se puede incorporar en él una válvula de aire de circulación.

Los cuerpos de las turbinas son bastante diferentes unos de otros según la aplicación. Los materiales de fundición para los cuerpos de turbina van desde GGG 40 hasta NiResist D5 (según la temperatura

del gas de escape). El cuerpo para el turbocompresor de gases de escape de camión es de cámaras gemelas, en las que ambos fluidos se unen inmediatamente delante de la entrada del rodete. Con un cuerpo así, se consigue la compresión dinámica, donde además de la energía de la presión de los gases de escape se utiliza también la energía cinética de los mismos.

En oposición a ello, en la sobrealimentación por acumulación, también llamada a presión constante, se utiliza únicamente la energía de la presión de los gases de escape. Para esto se pueden utilizar cuerpos de turbina de un paso. Este tipo de construcción se ha impuesto especialmente para cuerpos de turbina refrigerados por agua para motores marinos. En los turbocompresores para motores grandes el rodete de la turbina suele ir precedido de un anillo de toberas (rueda directriz de la turbina) que posibilita una inyección especialmente uniforme hacia el rodete y la regulación fina de la producción.

En los turbocompresores para turismos se utilizan siempre cuerpos de turbina de un solo paso. A causa del amplio campo del número de revoluciones de los motores para turismos, es preciso disponer de una regulación del turbocompresor de gases de escape para conseguir así una presión de sobrealimentación casi constante, a cualquier número de revoluciones del motor. El estado de la técnica permite la regulación de los gases de escape, ya que una parte de los mismos no pasa por la turbina (bypass). El órgano de regulación necesario para ello puede ser una válvula o una mariposa, y estar aparte o integrada en el cuerpo de la turbina.

El órgano de regulación de la presión de sobrealimentación se acciona neumáticamente. La presión de regulación necesaria se toma del lado de presión del turbocompresor, de forma que el sistema compuesto por el turbocompresor y el órgano de regulación de la presión de sobrealimentación constituyen una unidad independiente.

La forma variable de la turbina facilita una regulación energéticamente más ventajosa al variar continuamente su retención, con lo cual se utiliza toda la energía de los gases de escape.

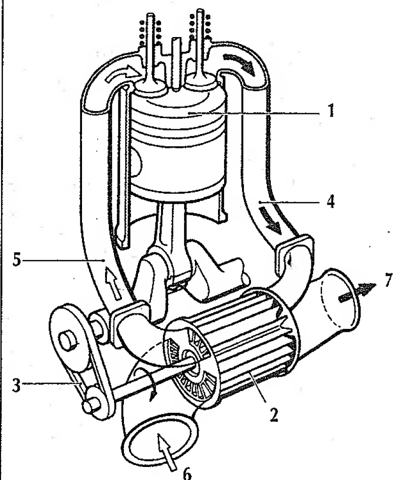
De las formas de ejecución pensadas para esto, se ha impuesto por su amplio campo de regulación y buen rendimiento la de palas regulables.

Mediante el movimiento giratorio de un anillo de ajuste se obtiene una fácil regulación del ángulo de las palas al valor que convenga mediante unas levas giratorias o bien directamente por unas palancas de ajuste fijadas en las palas. El mando se efectúa mediante una caja de ajuste neumática con sobrepresión o depresión. Una regulación microelectrónica puede aprovechar muy bien las ventajas de la forma variable de la turbina con adaptación óptima de la presión de carga a lo largo de todo el campo característico del motor.

Compresor de ondas de presión

Es una máquina dinámica de gas, en la cual tiene lugar un intercambio de energía entre los gases de escape y el aire fresco por medio de ondas de presión. Este intercambio tiene lugar en las celdas del rotor, llamado también rodete celular, que es accionado por el motor a través de correas para la regulación y mantenimiento del proceso de las ondas de presión.

Compresor de onda presión
1 *Motor,* **2** *Rodete celular,* **3** *Transmsión de correas trapezoidales,* **4** *Gas de escape a alta presión,* **5** *Aire a alta presión,* **6** *Entrada de aire a baja presión,* **7** *Salida de gas a baja presión*



El intercambio de energía se realiza en el rodete celular a la velocidad del sonido. Es función de la temperatura de los gases de escape y por ello depende principalmente del par motor y no del número de revoluciones.

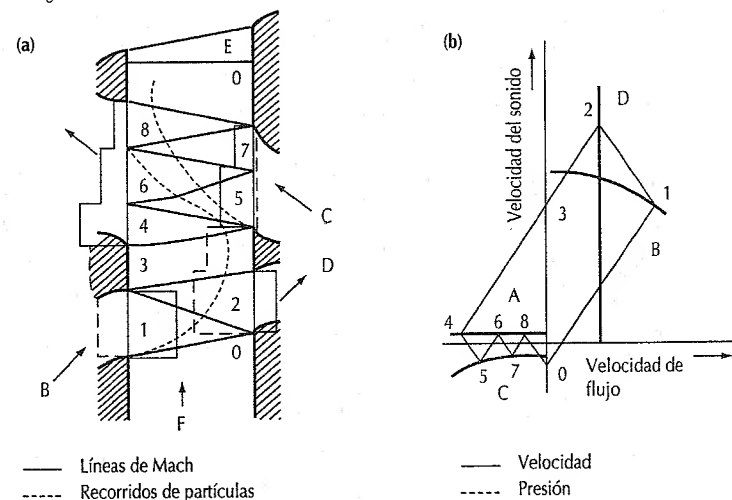
A relación constante de transmisión entre el motor y el compresor de onda de presión, resulta que este proceso de onda de presión sólo es óptimo para un punto de trabajo. Incorporando "bolsas" apropiadas en los cuerpos del lado frontal se puede ampliar sin embargo el campo de buenos rendimientos a una zona amplia de funcionamiento, y conseguir así una buena característica de la presión de carga. A consecuencia del cambio de energía en el rotor a la velocidad del sonido, el compresor de onda de presión reacciona rápidamente a los cambios de estado. Los tiempos de reacción vienen determinados por los procesos de llenado de los tubos de aire y de gases de escape.

El rodete celular del compresor de onda de presión es accionado por el cigüeñal del motor a través de correas. Para reducir el ruido, las celdas del rodete son de distintos tamaños. El rotor gira dentro de un cuerpo cilíndrico en cuya cara frontal desembocan los conductos de aire y de gas, y además la entrada de aire a baja presión y el aire a alta presión por un lado, y el gas de escape a alta presión y la salida de gas a baja presión por el otro lado.

El diagrama de ubicación y de estados de la figura muestra el proceso de ondas de presión de un "Comprex" sencillo en un punto de funcionamiento a plena carga a un número promedio de revoluciones. Por el desarrollo del rotor y del cuerpo la rotación llega a ser una traslación. El diagrama de los estados contiene las curvas de las condiciones marginales para las cuatro aberturas en los cuerpos, que corresponden a las condiciones reinantes allí. Los diagramas para el proceso idealizado sin pérdidas han sido construidos mediante la ayuda del procedimiento de las características.

El rotor del compresor de ondas de presión lleva cojinetes flotantes y lubricación permanente de grasa. El rodamiento está colocado en el lado del aire del dispositivo. El cuerpo del aire es de aluminio, el cuerpo de gases de materiales NiResist. El rotor atravesado axialmente por sus células es fabricado por el procedimiento de cera perdida (fundición en fino). Según sean los requerimientos, la presión de carga es regulada en el compresor mediante un órgano de regulación integrado.

Diagrama de posición* (a) *y diagrama de estados* (b) *en compresores de ondas de presión
A *Salida gases de escape,* B *Entrada gases de escape,* C *Entrada aire,* D *Salida aire,* E *Aire sobrante, aire fresco,* F *Sentido de giro del rotor*



Conducción de los gases de escape

Misión de la instalación de los gases de escape

La instalación de los gases de escape reduce los productos contaminantes de los gases de escape que se forman durante el funcionamiento del motor y a continuación descarga los gases de escape sobrantes por el lugar más idóneo posible del vehículo de forma lo más silenciosa posible. Con esto el rendimiento del motor debe afectarse lo menos posible.

Componentes de una instalación de gases de escape

Como ejemplo sirve la instalación de gases de escape de un turismo. Básicamente consta de tres partes; también puede encontrarse alguno o algunos componentes en vehículos industriales.

En el motor Otto el catalizador sirve para purificar los gases de escape (y, mientras tanto también, el catalizador de oxidación de los motores diesel). Se sitúa lo más cerca posible del motor para que alcance rápidamente su temperatura de funcionamiento y también tenga un buen funcionamiento en el tráfico en ciudad. Como catalizador de instalación posterior a la fabricación del automóvil, se coloca en el lugar del silenciador delantero y aparte de la purificación de los gases de escape también asume tareas acústicas. Las modificaciones acústicas deben cumplir las disposiciones legales.

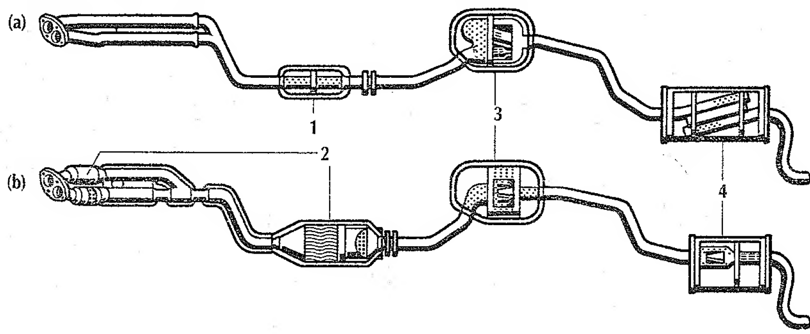
Según sea el tamaño del vehículo y el del motor, se utilizan uno o varios silenciadores. En motores en V a menudo las conducciones del lado derecho e izquierdo transcurren separadas, dotadas de catalizadores o silenciadores y casi al final se unen a un silenciador grande.

Los tubos forman la última parte de la instalación de los gases de escape. Comunican todas las oberturas de gases de escape de la culata con uno o varios tubos (codos) y además el o los catalizadores y los silenciadores entre sí. La longitud y la sección de los tubos, así como también el tipo de la unión de la conducción, afectan a la característica de potencia y al comportamiento acústico del motor. Por eso, a menudo, las instalaciones de los gases de escape para vehículos con cilindradas grandes van equipadas con tubos dobles. Los tubos, el catalizador y los silenciadores van unidos por enchufe y bridas para alcanzar su longitud total. Algunas instalaciones de origen van soldadas para que el montaje sea más rápido.

Toda la instalación de los gases de escape se fija a la parte inferior del chasis con elementos de sujeción elásticos. Los puntos de fijación deben seleccionarse cuidadosamente, pues las oscilaciones pueden transmitirse a la carrocería e influenciar en el nivel de ruido en el interior del compartimiento de pasajeros. El ruido en la desembocadura de la instalación de los gases de escape también puede provocar resonancias en la carrocería.

Instalaciones de los gases de escape

(a) *Sin sistema de catalizador,* **(b)** *Con sistema de catalizador*
1 *Silenciador delantero,* **2** *Sistema catalizador,* **3** *Silenciador intermedio,* **4** *Silenciador trasero*



El volumen total de la instalación silenciadora en un turismo equivale aproximadamente de tres a ocho veces la cilindrada del motor. Según sean la cilindrada y el tipo del silenciador, la instalación de los gases de escape pesa entre 8 y 40 kg.

Catalizador

El cuerpo del catalizador es de acero de alta calidad resistente al calor. Contiene monolitos cerámicos con recubrimiento activo. Se utiliza suspensión elástica para compensar los coeficientes de dilatación diferentes del acero y de la cerámica y para proteger al monolito sensible a los golpes y las vibraciones. Para ello se han consolidado dos sistemas diferentes:

El alojamiento en tejido de alambre de acero fino altamente resistente al calor es insensible a temperaturas extremas de los gases de escape y a pulsaciones fuertes del gas en el margen de altas velocidades. Debido al poco aislamiento al calor de este alojamiento, los tubos y el cuerpo del catalizador a menudo se aíslan más.

El alojamiento en esteras de hinchamiento consta de un fieltro de fibras cerámicas compuesto a su vez de fibras de silicato de aluminio y de trocitos micáceos expansivos. Ambas substancias están unidas entre sí por látex acrílico. Por influencia de la temperatura la estera se expande y aprieta al monolito a una posición inamovible. Puesto que la estera de hinchamiento es un buen aislante, cumple además con aislamiento adicional del calor. Sin embargo, puede suceder que con calor excesivo la estera siga dilatándose y exista el peligro de rotura del monolito. A temperatura excesivamente baja la presión de la estera de hinchamiento es demasiado pequeña. El monolito puede moverse y romperse. Las pulsaciones de los gases de escape pueden llevar a efectos de erosión en la estera de hinchamiento.

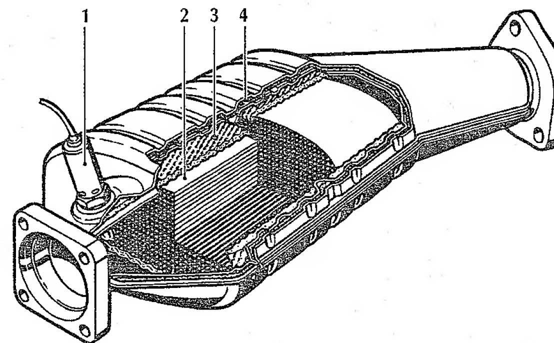
Para limitar las dilataciones longitudinales y obtener una mejor mezcla de los gases de escape, se emplean a menudo varios monolitos en un mismo catalizador. La forma del embudo de entrada al catalizador debe estar conformada cuidadosamente para obtener una distribución uniforme del gas en el monolito. La forma externa del cuerpo cerámico depende de la disponibilidad de espacio debajo del vehículo, y puede ser triangular, rectangular o redonda.

Una alternativa al monolito cerámico es el catalizador metálico. Consta de una lámina metálica finamente ondulada, de 0,05 mm de espesor, soldada en un proceso de alta temperatura. Al igual que en el catalizador cerámico, su superficie está recubierta con material catalíticamente activo. Por sus paredes delgadas puede haber una cantidad mayor de canales en la misma superficie. Esto significa menor resistencia contra los gases de escape, lo cual es ventajoso para la optimización de vehículos de altas prestaciones.

Los catalizadores también evidencian efectos acústicos. Debido a los tubos estre-

Catalizador de dos cuerpos y tres vías

1 *Sonda lambda para regulación lambda,* **2** *Monolito,* **3** *Alojamiento de tejido de alambre,* **4** *Armazón doble aislado térmicamente*



chos cerámicos, forman un sinnúmero de pequeñas fuentes de sonido. Las ondas de sonido se anulan en parte por interferencias o son amortiguadas por rozamientos.

Al dimensionar instalaciones de gases de escape, el catalizador debe ser adaptado cuidadosamente, porque influye mucho por su alta resistencia al flujo, al transcurso de las vibraciones en la instalación y al comportamiento de potencia del motor (véase también "Recombustión catalítica", pág. 489).

Silenciadores

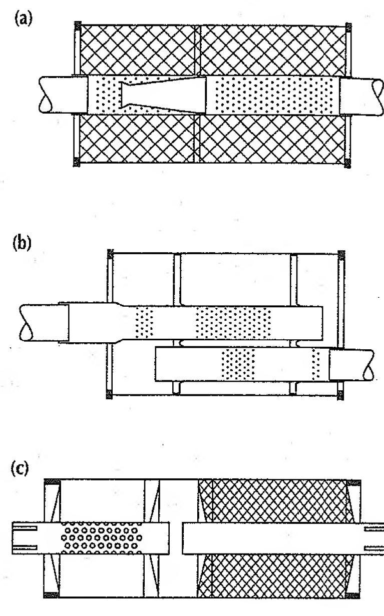
Los silenciadores deben alisar las pulsaciones de la presión de los gases de escape y hacerlas lo menos audibles posible. Para ello hay básicamente dos principios básicos: la reflexión y la absorción. Según estos principios los silenciadores pueden ser por reflexión o por absorción, pero la mayoría de ellos constan de la combinación de ambos. La ubicación de los silenciadores es de gran importancia para la calidad de la amortiguación del sonido, porque junto con los tubos de la instalación de los gases de escape forman un sistema capaz de oscilar con resonancias propias. La meta es ajustar las instalaciones con profundidad máxima para que sus frecuencias propias no exciten las posibles resonancias en la carrocería. Para evitar sonidos del cuerpo y para el aislamiento térmico la parte inferior de la carrocería, los silenciadores frecuentemente son de doble pared y capa aislante. Según sean las condiciones de espacio debajo del vehículo, los silenciadores se construyen como "recipiente enrollado" o de medios cascos.

Los silenciadores por reflexión constan de cámaras de diferentes longitudes unidas por tubos. Un amortiguamiento especialmente eficaz para frecuencias bajas lo producen los saltos de sección entre tubos y cámaras, así como también las desviaciones de los gases de escape producidas por los tubos de unión entre las cámaras y los resonadores. Cuantas más cámaras sean posibles, tanto mayor es el amortiguamiento del silenciador.

Los silenciadores por reflexión causan mayor presión contraria a los gases de escape, normalmente tienen más pérdida de rendimiento y son más pesados.

Los silenciadores por absorción se componen de una cámara a través de la cual pasa un tubo perforado. La cámara está llena de un material que absorbe el sonido. El sonido atraviesa las perforaciones y entra en el material absorbente, donde atraviesa por rozamiento y se transforma en calor. El material absorbente consiste mayormente en lana mineral de fibra larga (lana de basalto o de piedra) con una densidad de llenado de 120 a 150 g/l. El amortiguamiento depende de la densidad de llenado, del grado de absorción del material y de la longitud y espesor de la capa de la cámara. El amortiguamiento es de banda muy ancha y comienza ya a frecuencias muy altas. La conformación de las perforaciones y la conducción del tubo a través de la lana asegura que el material no sea expulsado por las pulsaciones del gas de escape. A veces se protege a la lana mineral con una capa de lana de acero fino alrededor del tubo perforado.

Principios de los silenciadores
(a) *Silenciador por absorción*
(b) *Silenciador por reflexión*
(c) *Combinación entre (a) y (b)*



Los silenciadores por absorción se usan principalmente como silenciadores traseros.

Elementos de sintonización acústica

Hay diferentes componentes destinados a eliminar las frecuencias especialmente molestas en la embocadura de una instalación silenciadora.

El resonador de Helmholtz como resonador por absorción amortigua en el intervalo de su frecuencia propia. Como resonador de circulación amplifica su frecuencia propia, pero después posee un margen muy amplio de amortiguamiento.

Los canalones perforados son tubos perforados que actúan de forma parecida a la alcachofa de una regadera. Del tubo como fuente grande de sonido se pasa a muchos pequeños puntos de sonido, consistentes en los orificios de la zona perforada. Por interferencias y turbulencias del gas de escape se origina un efecto de filtrado de banda ancha.

Los eyectores Venturi eliminan los ruidos de baja frecuencia. Tiene que estar conformadas de tal manera que en el cuello del eyector la velocidad del flujo sea siempre inferior a la del sonido. El ángulo de la alcachofa ha de tener una medida determinada, de no ser así se producen ruidos de silbidos.

Filtros de hollín

Se están desarrollando filtros para la eliminación de las partículas sólidas de los gases de escape de los motores diesel. Se utilizan diferentes sistemas de filtros, p.ej. filtros de lana de acero, filtros cerámicos monolíticos o filtros cerámicos de enrollado, etc.

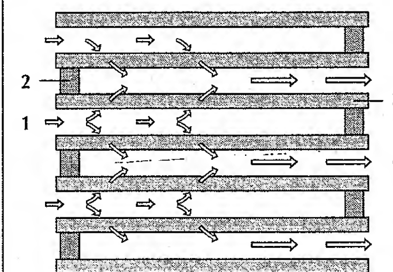
El filtro cerámico monolítico representa actualmente el mejor compromiso entre los diferentes requerimientos exigidos a un filtro. Contrariamente a los monolitos de catalizador que son de paso en toda su amplitud, los canales del filtro de hollín están cerrados de forma alterna, de manera que el gas cargado de partículas tiene que fluir a través de las paredes no recubiertas y porosas del cuerpo en panal. Según sea la porosidad del cuerpo cerámico, el rendimiento del filtro oscila entre el 70 y el 90%.

Para garantizar la plena capacidad de funcionamiento de los filtros, se tienen que regenerar cada cierto tiempo. Para la limpieza se ofrecen dos procedimientos; en ambos casos se queman las partículas de hollín.

En el procedimiento químico unos aditivos en el carburante reducen la capacidad de encendido de las partículas de hollín a la temperatura usual de los gases de escape. El inconveniente es que puede haber emisiones secundarias provocadas por los aditivos.

En el procedimiento térmico se conecta adicionalmente un elemento combustible que eleva la temperatura de los gases de escape a aproximadamente 700 °C. Para ello se requieren elementos de alto rendimiento. En el caso más sencillo se efectúa la regeneración a motor parado. El momento de la regeneración del filtro se averigua mediante un mando de tiempo o mediante un medidor de presión. Para la regeneración durante la marcha, se trabaja con dos filtros, que se regeneran y usan alternativamente. Esto, sin embargo, es de costes elevado. Otra posibilidad para esto consiste en que durante el tiempo de regeneración se desvíen los gases de escape por un silenciador y entonces durante aproximadamente el 5% del camino recorrido salen sin limpiar. También se están desarrollando elementos de combustión que permiten la regeneración durante el paso de los gases de escape (regeneración a pleno flujo).

Filtro cerámico de hollín (principio)
1 *Entrada gases de escape,* **2** *Tapón de cerámica*
3 *Pared celular intermedia,* **4** *Salida gases de escape*



Mando del motor en motores Otto

Parámetros de mando y comportamiento de funcionamiento

Relación aire-combustible

La combustión completa de 1 kg de gasolina requiere aprox. 14,5 kg de aire. En esta relación estequiométrica aire-combustible el coeficiente de aire

$$\lambda = \frac{\text{Coeficiente de aire aportado}}{\text{Requerimiento teórico}} = 1.$$

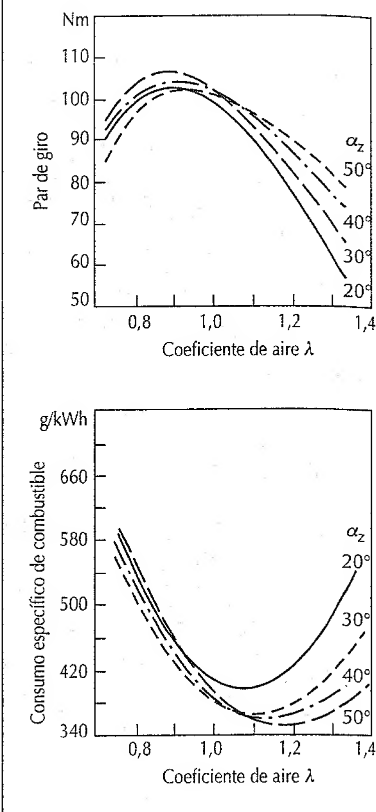
Una mezcla pobre contiene ($\lambda > 1$) más aire, una mezcla grasa ($\lambda < 1$) menos aire.

La relación aire-combustible determina de manera decisiva el comportamiento de funcionamiento del motor. El par máximo de giro y un giro redondo o equilibrado del motor se obtiene con $\lambda \approx 0,9$, sin embargo con este coeficiente son desfavorables las emisiones de HC y de CO y el consumo específico de combustible. Con $\lambda \approx 0,5$ se alcanza el límite de funcionamiento rico y con $\lambda \approx 1,3$ a 1,5 el límite pobre. Antes se ajustaban por eso los motores en la carga parcial aprox. con $\lambda \approx 1,1$ (consumo de combustible), a plena carga más rico (potencia) y al ralentí aprox. con $\lambda \approx 1$ (suavidad de marcha). Para alcanzar la más favorable transformación de las emisiones brutas del motor en el catalizador de tres vías y con ello cumplir con los valores límite de los gases de escape, hoy en día casi todos los motores funcionan con una relación estequiométrica de aire $\lambda \approx 1$ (pág. 490). Los nuevos conceptos de mezclas pobres que permiten el funcionamiento hasta con $\lambda \approx 1,6$ mediante torsión de la admisión y turbulencias de la mezcla, dan como resultado una ventaja clara en el consumo frente a los conceptos con $\lambda \approx 1$. Para el cumplimiento de los más estrictos futuros límites de los gases de escape es necesario, ademas del catalizador de oxidación, un catalizador de NO_x.

Calidad de la preparación

Los motores Otto tienen el mejor proceso de combustión con una mezcla homogénea de aire y combustible. Para ello es necesaria una buena preparación del combustible con una pulverización muy fina. Los sistemas con carburador proporcionan a fuerte depresión en el tubo de admisión (ralentí, carga inferior parcial), una neblina fina de combustible pero en el campo superior de carga proporcionan gotas de combustible. En instalaciones de inyección (individual centralizada) la preparación es parejamente buena en todo el campo de funcionamiento. Mediante la aportación de aire a través de la válvula de estrangulamiento, hacia el lugar del chorro de la tobera de inyección (cerramiento de aire), se puede mejorar considerablemente la preparación con diámetros de las gotitas de 40 a 60 µm.

Influencia del coeficiente de aire λ y del punto de encendido α_z sobre el consumo de combustible y el par de giro



Tipos de dosificación

En sistemas centralizados de aportación de mezcla (carburadores y sistemas centrales de inyección) los largos y distintos recorridos de la conducción dificultan la distribución uniforme del combustible en los cilindros. En especial con los carburadores el ajuste es difícil, puesto que según sea el modo de funcionamiento, muchos surtidores y aberturas diferentes introducen el combustible en el tubo de aspiración.

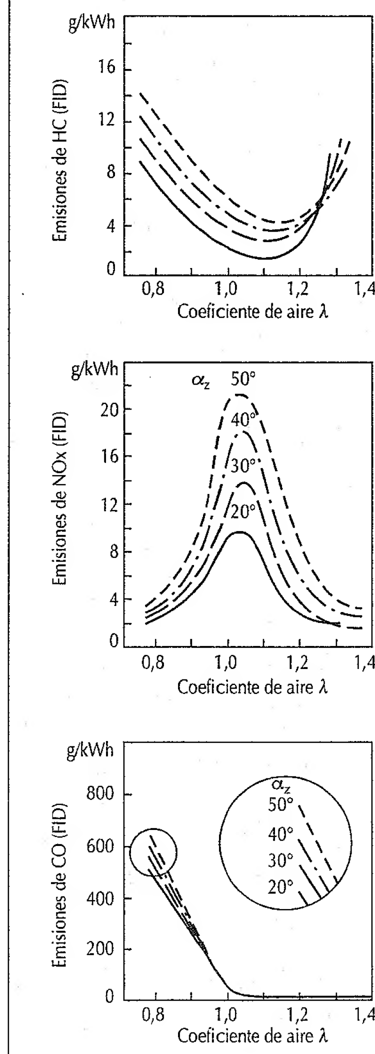
Energía de encendido

El encendido induce la combustión mediante un salto de chispa de alta tensión en la bujía. En una mezcla estequiométrica basta con una energía en la chispa de encendido de aprox. 0,2 mJ en mezclas ricas; en mezclas pobres, sin embargo, se requiere una energía notablemente mayor. Un exceso de energía, es decir una instalación de encendido con alta energía de chispas y larga duración del encendido de las chispas (encendido por transistores o electrónico) estabiliza la inflamación y reduce así las variaciones de un ciclo a otro. Variaciones cíclicas menores llevan a un funcionamiento más suave del motor, menos consumo y menos emisiones de HC. También influye positivamente en el funcionamiento del motor y las emisiones de HC con el apropiado instante de las chispas, la distancia entre los electrodos de la bujía y su poco espesor.

Punto de encendido

El punto de encendido influye en sentido opuesto entre el consumo de combustible y las emisiones de los gases de escape: un encendido avanzado aumenta la potencia y reduce el consumo, pero aumenta en cambio las emisiones de HC y muy en especial de NO_x. Un encendido avanzado puede llevar al golpeteo del motor con peligro de causar daños al motor. En un encendido retardado aumentan las temperaturas de los gases de escape, lo cual también puede llevar a daños al motor. Mediante una distribución electrónica del motor, que determina de manera óptima al punto de encendido en función del número de revoluciones, de la carga, de la temperatura, etc., pueden tomarse en consideración todos los requisitos.

Influencia del coeficiente de aire λ y del punto de encendido α_z sobre las emisiones contaminantes



Encendido

La función del encendido es inflamar la mezcla comprimida de aire y combustible en el instante adecuado e iniciar así su combustión. En el motor Otto esto tiene lugar por medio de una chispa eléctrica, es decir, la descarga del arco eléctrico momentáneo entre los electrodos de la bujía. Un encendido que funcione correctamente bajo todas las condiciones es condición previa para el funcionamiento impecable del catalizador.

Fallos de encendido llevan a daños o la destrucción del catalizador debido al recalentamiento por recombustión de la mezcla no quemada.

Inflamación de la mezcla

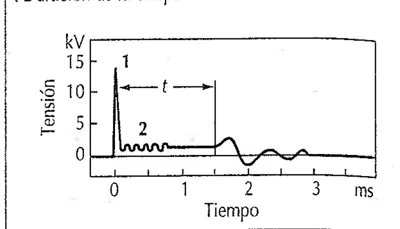
Para inflamar una mezcla de aire y combustible por medio de chispas eléctricas se necesita una energía de aproximadamente 0,2 mJ para cada encendido, siempre que la mezcla tenga una composición estequiométrica. Las mezclas ricas y pobres necesitan más de 3 mJ. Esta energía es sólo una fracción de la energía total contenida en la chispa de encendido, es decir, de la energía de encendido. Cuando la energía de encendido disponible es insuficiente, no tiene lugar el encendido; no se inflama la mezcla y se producen fallos en la combustión.

Por este motivo debe haber suficiente energía de encendido para que incluso en condiciones exteriores desfavorables, se tenga la seguridad que se inflama la mezcla de aire y combustible. Para esto es suficiente que pase por la chispa una pequeña nube de mezcla capaz de inflamarse.

La inflamación de esa nube hace que se inflame la mezcla restante del cilindro que conduce así a la combustión del combustible. Una buena preparación y el fácil acceso del combustible mezclado a la chispa mejora la propiedad del encendido así como la duración y longitud de la chispa o distancia entre electrodos.

De la misma forma actúa de forma favorable la buena turbulencia de la mezcla. La posición y la longitud de la chispa vienen dadas por las dimensiones de la bujía; la duración de la chispa por el tipo y disposición de la instalación de encendido, así como por las condiciones de encendido del momento.

Evolución de la tensión con el tiempo en la bujía con una mezcla en reposo o escaso movimiento
1 *Tensión del encendido,* **2** *Tensión de combustión,*
t Duración de la chispa



Formación de la chispa de encendido

La chispa sólo puede saltar de un electrodo a otro, cuando existe una tensión suficientemente alta. En el instante del encendido la tensión en los electrodos de la bujía aumenta desde cero hasta la tensión de salto del arco (tensión de encendido). Tan pronto como se produce la chispa, desciende la tensión en la bujía hasta la tensión de combustión. Durante el tiempo de encendido de la chispa (duración de la chispa), la mezcla de aire y combustible tiene oportunidad de inflamarse. Después de la irrupción de la chispa, la tensión oscila amortiguándose.

La fuerte turbulencia de la mezcla, normalmente deseada, puede llevar a apagar a la chispa y con ello a la combustión incompleta de la mezcla. Por ello la energía almacenada en la bobina de encendido debería ser suficiente para una o (según necesidad) varias chispas seguidas.

Generación de alta tensión y acumulación de energía

La alta tensión necesaria para el encendido de la chispa, en las instalaciones de encendido por batería, se consigue transformando la tensión de ésta en alta por medio de la bobina de encendido. La bobina de encendido es concretamente en el circuito un autotransformador, que además del encendido de la bujía tiene otra función importante, que es la de acumular energía de encendido. La bobina recibe energía de la red del vehículo en el lado primario durante el tiempo en que están cerrados los contactos del encendido, la acumula en un campo magnético y en el instante del encendido la transmite por el secundario, como impulso de alta tensión para el encendido, a una de las bujías del motor. La bobina de encendido está dispuesta de tal manera, que la alta tensión disponible quede muy por encima de las necesidades máximas para el encendido de la bujía; el suministro de alta tensión asciende de 25 a 30 kV cuando la energía acumulada en la bobina es de 60 a 120 mJ.

La reserva de función en alta tensión y energía de encendido se determina de forma que queden compensadas todas las pérdidas eléctricas posibles. La inobservancia de los trabajos de mantenimiento supone una pérdida de las reservas de alta tensión, cuyas consecuencias son fallos en el encendido y la combustión. La potencia del motor disminuye y el consumo de combustible aumenta. En casos extremos se para el motor o no arranca, sobre todo cuando está frío.

Para motores de alta potencia y de carreras hay también sistemas de encendido con acumulador de energía capacitativo, en los que se acumula la energía del encendido en el campo eléctrico de un condensador y se transmite a la bujía como impulso de encendido de alta tensión por medio de un transformador especial.

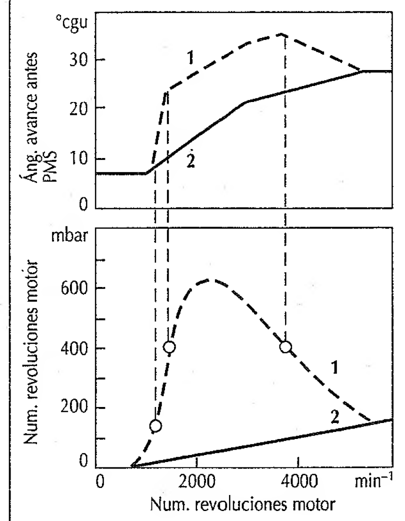
Punto de encendido y su regulación

Desde el instante de la inflamación de la mezcla hasta la combustión total de la misma transcurren aproximadamente dos milisegundos. La chispa del encendido debe saltar por ello cuanto antes para que la presión de combustión sea óptima en todas las condiciones de funcionamiento del motor. El punto de encendido debe elegirse de modo que se cumplan las siguientes exigencias

- Potencia del motor máxima
- Consumo de combustible económico y
- Gases de escape limpios

Estos requisitos no se pueden cumplir todos a la vez; hay que establecer compromisos en cada caso. El punto de encendido más favorable en cada caso depende de muchos factores, especialmente del número de revoluciones del motor, de su carga, del tipo, del combustible y de las condiciones particulares de servicio, como pueden ser el arranque, el ralentí y con el motor impulsado (cuesta abajo). De la

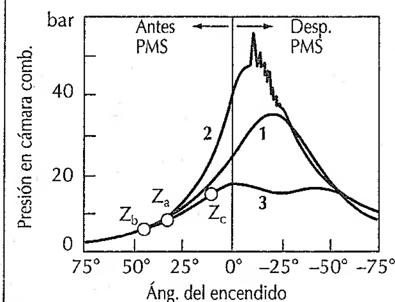
Ejemplo de una regulación total del encendido dependiente de la regulación del número de revoluciones y de la regulación de la presión en el tubo de aspiración
1 *Carga parcial en carret,* **2** *Carga total*



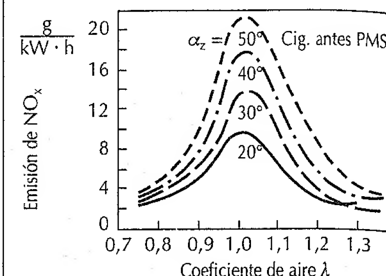
adaptación del punto de encendido a las condiciones del momento se cuidan dispositivos de ajuste del encendido dependientes del número de revoluciones y de la presión en el tubo de aspiración.

Ambos tipos de regulación pueden trabajar por separado o conjuntamente. La cantidad que se avanza o retrasa el punto de encendido provocada por ellos, la determinan las denominadas líneas de ajuste del encendido, que son diferentes de un tipo de motor a otro.

A plena carga, el pedal del acelerador está pisado a fondo y la mariposa muy abierta; a medida que aumenta el número de revoluciones el encendido se inicia siempre un poco antes, para que la presión de combustión respecto a la potencia del motor continúe siendo óptima. A carga parcial, la mariposa de estrangulamiento está poco abierta, la mezcla de aire y combustible es menos rica y, por tanto, menos inflamable. La inflamación necesita más tiempo y el instante del encendido debe regularse aún más en el sentido de "avance



Evolución de la presión en la cámara de combustión con diferentes puntos de encendido
1 Encendido (Z_a) en el punto correcto, 2 Encendido (Z_b) demasiado avanzado, 3 Encendido (Z_c) demasiado retrasado



Dependencia de la emisión de (NO_x) del coeficiente de aire λ para diferentes puntos de encendido
α_z Ángulo del encendido

o adelanto". El vacío para la regulación del avance se toma de la mariposa de estrangulamiento. Primero aumenta a medida que se va abriendo la mariposa y vuelve a descender al aproximarse a la posición de plena carga. Como en circulación normal (carga parcial en carretera), al aumentar el número de revoluciones, siempre hay que abrir mucho la mariposa, la evolución del vacío (depresión) resulta representada en el diagrama con respecto del número de revoluciones a carga parcial en carretera.

Otro diagrama indica la evolución de la presión en la cámara de encendido de un motor de cuatro tiempos con punto de encendido correcto y erróneo. Incluso cuando el punto de encendido sea correcto al principio, sucede que por mal mantenimiento varia luego con más o menos desviación de su posición, con lo cual si se retrasa, disminuye lentamente la potencia del motor y aumenta el consumo de combustible, y si se adelanta, en casos extremos pueden producirse graves daños en las bujías o en el motor, al picar éste por exceso de adelantamiento o avance. Además los gases del escape se hacen más tóxicos.

Encendido y gases de escape

El encendido tiene una influencia considerable en los gases de escape, puesto que puede afectar directamente a sus diferentes componentes. El ángulo de encendido óptimo para esto sólo puede materializarse en parte ya que los criterios de optimización para el gas de escape, el consumo, la capacidad de marcha, etc., no se pueden cumplir siempre todos a la vez.

Resumen de los distintos sistemas de encendido

Función	Sistema de encendido SZ	TZ	EZ	VZ
Denominación	Instal. de encendido por bobina	Instal. de encendido por transistores	Instal. de encendido electrónico	Instal. de encendido completam. electrónico
Desconexión del encendido	Mécanica	Electrónica	Electrónica	Electrónica
Determic. del áng. del inst. del encendido, partiendo del núm de revoluc. y estado de carga del motor	Mécanica	Mécanica	Electrónica	Electrónica
Generación de la alta tensión	Inductiva	Inductiva	Inductiva	Inductiva
Distribución y trasnmisión de la chispa del encendido al cilindro correcto	Mécanica	Mécanica	Mécanica	Electrónica

Bobina de encendido

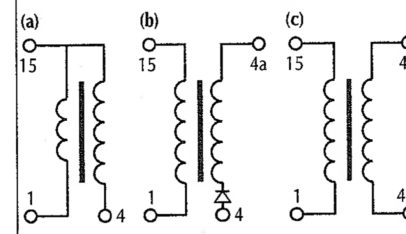
La bobina de encendido es tanto un acumulador de energía como un transformador. Se alimenta de la red de corriente continua del vehículo y suministra los impulsos de encendido a la bujía con la alta tensión y energía de chispa requerida. La energía acumulada en el campo magnético viene determinada por la etapa final de encendido, con corriente de desconexión prefijada, así como también por el bobinado primario con sus valores de resistencia y de inducción. Mediante el dimensionado del bobinado secundario pueden determinarse, según sea las necesidades, la alta tensión, la corriente de chispas y la duración de las chispas.

El contacto del ruptor del encendido de bobina solamente posibilita corrientes de desconexión de hasta aprox. 5 A. Los sistemas de encendido TZ, EZ y VZ pueden conectar casi cualquier tipo de corriente de desconexión. En instalaciones electrónicas de encendido son innecesarias las normalmente usuales resistencias previas (que se puentean en el arranque en frío). La bobina de encendido se conecta con tiempo suficiente para que la energía plena requerida, dependiente de la tensión de la batería y del número de revoluciones, esté a disposición para el punto de encendido.

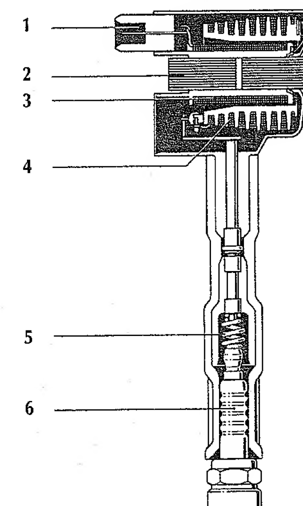
El tipo de bobina depende del uso a que se destine. Para alcanzar una energía y tensión de encendido suficientes también a números altos de revoluciones, la bobina de encendido tiene que cargarse rápidamente. Para esto es necesaria una inductividad primaria reducida y, para acumular suficiente energía, una eventual corriente de desconexión mayor.

Construcción y funciones

Las bobinas de encendido tradicionales rellenas de material bituminoso o de aceite en un armazón de chapa se están cambiando por bobinas con aislamiento de resinas epoxi. Además de mayor libertad para elegir su forma, tipo y número de conexiones, estas bobinas pesan menos, son más pequeñas y tienen mayor resistencia a las vibraciones. La mayoría de las veces se sujeta la bobina por el núcleo de hierro a la carrocería o al motor. Para la mejor descarga del calor y para ahorrar cobre, el bobinado primario, como fuente principal de calor, está lo más cerca posible del núcleo de hierro.



Bobinas de encendido (esquema)
Distribución rotatoria
(a) Bobina de encendido de una chispa. Distribución estacionaria,
(b) Bobina de encendido de una chispa,
(c) Bobina de encendido de dos chispas



Bobina de encendido de una chispa
1 Conexión baja tensión exterior, 2 Núcleo hierro láminas, 3 Primario, 4 Secunario, 5 Conexión a la tensión interior sobre contacto de muelle, 6 Bobina de encendido

Los plásticos empleados permiten una muy buena adherencia entre todas las piezas que conducen alta tensión y la resina epoxídica, la cual llena fiablemente todos los capilares. En parte también se incorporan núcleos férricos en el interior del cuerpo de plástico.

El bobinado secundario frecuentemente se efectúa como bobinado plano o como bobinado en cámaras, cuyas vueltas se distribuyen en una serie de segmentos. La solicitación uniforme de los materiales aislantes en todas las cámaras a elevada resistencia a la tensión posibilita unas dimensiones reducidas y hace innecesarias las capas intermedias de papel o de láminas aislantes. Simultáneamente baja la capacidad propia del bobinado.

A causa de la menor tensión de ruptura (respecto a la masa del motor) de las chispas de encendido negativas, en las bobinas de encendido para el distribuidor rotatorio, normalmente se unen conjuntamente el lado positivo del devanado primario y la conexión positiva del devanado secundario.

Para instalaciones de encendido con distribución estática principalmente hay bobinas de encendido de una y de dos chispas.

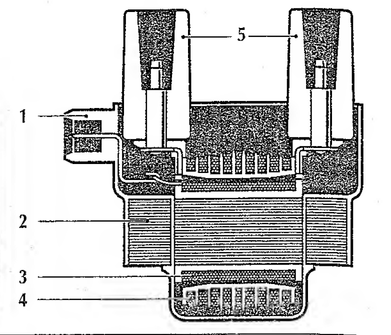
Con una bobina de una chispa por bujía se conecta o desconecta la corriente primaria de tal forma, que se dispone de un impulso de encendido en el momento apropiado en cada una de las diferentes bujías. Con chispómetros previos o diodos de alta tensión se evita que el impulso de alta tensión positivo que se genera en la conexión del primario de 1 a 2 kV lleve a inflamaciones previas no deseadas en la bujía.

En una bobina de dos chispas el bobinado primario y el bobinado secundario están separados galvánicamente. Las dos salidas de alta tensión están unidas a una bujía cada una. Al desconectar la corriente primaria se producen chispas de encendido en ambas bujías. Generalmente aquí no se requiere de medidas contra chispas de conexión como sucede en la distribución rotatoria de alta tensión.

Varias bobinas de encendido agrupadas en un solo componente con un cuerpo común, se conectan y montan más fácilmente. Desde el punto de vista de su función estas bobinas quedan independientes unas de otras. La combinación de bobinas de encendido con terminales de encendido permite conducciones primarias cortas (poca caída de tensión). Además se evita el calentamiento del dispositivo de mando debido a la potencia de pérdida de los terminales de encendido.

Bobina de encendido de dos chispas (distribución estática)

1 Conexión de baja tensión, 2 Núcleo férrico, 3 Bobinado primario, 4 Bobinado secundario, 5 Conexiones de alta tensión



Bujía

Misión

La misión de la bujía es introducir, en la cámara de combustión, la alta tensión generada por la bobina de encendido e inflamar la mezcla de aire-combustible haciendo saltar una chispa entre los electrodos. De esta manera la bujía determina decisivamente el rendimiento óptimo del motor y su funcionamiento fiable. Esto es válido especialmente en los modernos sistemas de gobierno del motor, donde la concepción especial de la bujía adquiere una importancia creciente.

Requerimientos

Los requerimientos de la bujía son complejos: está expuesta tanto a los procesos periódicos en la cámara de combustión como a las condiciones climáticas en el exterior del motor.

Un requerimiento importante eléctrico es su capacidad para funcionar a tensiones de más de 30 000 V, de manera que su capacidad aislante quede garantizada también a temperaturas del orden de los 1000 °C.

Mecánicamente la bujía está sometida a las presiones que aparecen periódicamente en la cámara de combustión (hasta 30 bar). Esto requiere una resistencia alta al calor y a las vibraciones continuas de los materiales de la bujía. La parte de la bujía que penetra en la cámara de combustión está expuesta a los procesos químicos que tienen lugar a altas temperaturas, de manera que se les exige resistencia contra los residuos agresivos de la combustión (corrosión de alta temperatura). Para un funcionamiento fiable, la bujía ha de asegurar la buena disipación del calor. Al aislador de la bujía se le exige una alta resistencia a la solicitación térmica (shock térmico), porque está expuesto a un rápido cambio de temperaturas debido a la alta temperatura de los gases de escape y la mezcla fría de aire-combustible. Para el buen funcionamiento de la bujía además es necesaria una buena descarga del calor de los electrodos y del aislador.

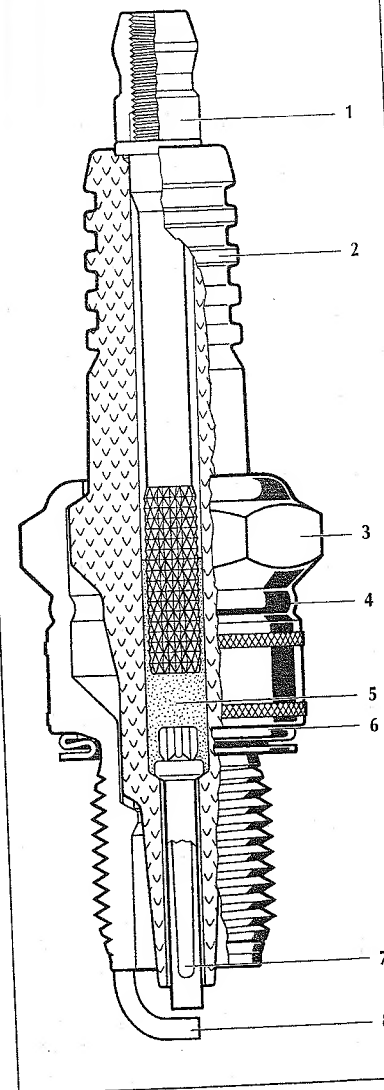
Construcción

Dentro de un aislador de cerámica especial de alta calidad el electrodo central y el bulón de conexión están unidos por vidrio fundido conductor de la electricidad. Este vidrio fundido se encarga, además del anclaje mecánico de las piezas, de la estanquidad contra los gases frente a las altas presiones de la combustión. Adicionalmente se pueden realizar con él medidas contra las interferencias electromagnéticas y el desgaste de los electrodos.

En el lado de su conexión, el aislador lleva un vitrificado para repeler mejor la suciedad. Está unido con el armazón niquelado de forma hermética contra los gases. El electrodo de masa está soldado en el armazón, debido a la alta solicitación térmica, y fabricado, al igual que el electrodo central, con aleaciones múltiples a base de níquel. Para la mejor descarga del calor se prestan, tanto para el electrodo central como para el electrodo de masa, electrodos compuestos con un material de recubrimiento externo de una aleación a base de níquel y un núcleo de cobre. Para determinados casos el material del electrodo es de plata o de platino o de aleaciones de platino. Según sea la conexión de alta tensión, las bujías tienen una rosca M4 o una conexión normalizada SAE. Para requerimientos máximos de protección contra interferencias electromagnéticas e instalaciones resistentes al agua, existen bujías con una envoltura protectora de metal.

Estructura de la bujía

1 Bulón de conexión con tuerca de conexión
2 Aislador de cerámica Al_2O_3
3 Armazón
4 Zona de contracción por calor
5 Vidrio conductor
6 Junta estanca
7 Electrodo central compuesto de Ni/Cu
8 Electrodo de masa



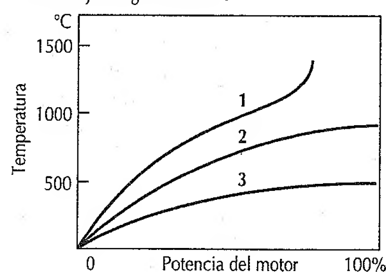
Grado térmico

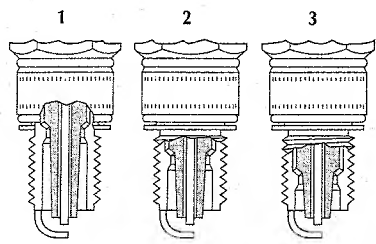
El grado térmico de una bujía es una medida de su capacidad de carga térmica. Este valor característico se basa en mediciones comparativas referidas a un patrón de comparación. El grado térmico recomendable para los diferentes motores depende de la cantidad de calor producida y luego descargada en el transcurso de la combustión. Determinante para los motores modernos no es ya solamente la temperatura en la bujía, sino también la probabilidad de inflamación, la cual se averigua mediante corriente de iones.

El procedimiento de medición de corriente de iones desarrollado para la recomendación correcta del grado térmico, distingue entre inflamaciones previas y retardadas en el transcurso de la combustión, tomando como referencia el punto de encendido del motor. La determinación de la distancia del ángulo de encendido hasta la inflamación previa sirve para fijar el grado térmico apropiado de la bujía. Para ello se utiliza el punto de funcionamiento del motor con mayor tendencia

Comportamiento de las bujías al variar la temperatura

1 Valor característico alto del grado térmico, 2 Valor característico medio del grado térmico, 3 Valor característico bajo del grado térmico





de inflamación. En los motores que todavía no han alcanzado su temperatura de trabajo, con temperaturas exteriores muy bajas y en repeticiones del proceso de arranque se producen combustiones incompletas. En tales casos raramente las temperaturas del electrodo central y de la punta del pie del aislador superan los 150 °C, de manera que hay que contar con residuos de hidrocarburos no quemados y de restos de aceite en las partes frías de la bujía.

Dado el peligro de cortocircuito de niebla fría (peligro de fallos de encendido) se procura que la bujía alcance de la forma más rápida temperaturas superiores a los 400 °C, porque a esa temperatura los pies del aislador, cubiertos de hollín, pueden liberarse por quemado. De estas condiciones marginales se puede deducir el "campo de trabajo" de una bujía:

- alcanzar rápidamente la temperatura de autolimpieza > 400 °C,
- cumplir con la reserva necesaria de grado térmico para evitar daños en el motor y en las bujías,
- cumplir con las temperaturas máximas de los electrodos de 850 °C para obtener una buena vida útil (corrosión por gases calientes).

El empleo de materiales con conductividad mayor del calor (plata o aleaciones de níquel con núcleo de cobre) para el electrodo central permite, a mismo número característico de grado térmico, un claro aumento de la longitud del pie del aislador y aumenta con ello el campo de trabajo de la bujía hacia una menor solicitación por calor, es decir, la bujía tiene menos tendencia a acumular hollín. Esta ventaja la ofrecen todas las bujías Bosch-Super (Thermo-Elastic).

De la reducción del peligro de fallos de encendido y de combustión, los cuales aumentan repentinamente las emisiones de hidrocarburos, resultan ventajas para los valores de los gases de escape y el consumo de combustible con cargas bajas.

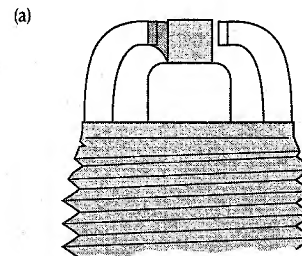
Distancia entre electrodos y tensión de encendido

La distancia o separación entre electrodos, por una parte, debe ser la mayor posible para que la chispa de la bujía active un volumen grande y lleve a la inflamación segura de la mezcla de aire y combustible y para obtener así una mayor potencia y un buen ralentí del motor. Pero por otra parte habría que elegir la distancia entre electrodos tan pequeña como fuera posible para que, en condiciones desfavorables de trabajo incluso al final de la vida de la bujía, la tensión de encendido fuera suficiente para el salto de la chispa con la adecuada fuente de energía. Si las distancias entre electrodos son demasiado pequeñas, en muchos casos no es posible conseguir el funcionamiento correcto al ralentí.

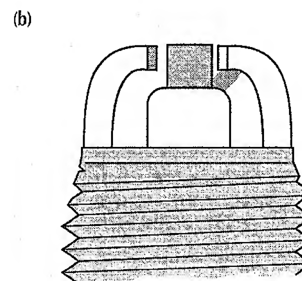
Distancia de descarga de chispas

(a) Longitud de chispa en el aire del electrodo central directamente al electrodo de masa,
(b) Longitud de chispas deslizantes del electrodo central al electrodo de masa por encima del pie del aislador

(a)



(b)



El valor de la tensión de encendido por la distancia entre electrodos no es el unico factor determinante sino también la forma, temperatura y material del electrodo, y otros parámetros como pueden ser la composición de la mezcla (valor lambda), velocidad de flujo, turbulencias y presión del gas a ser inflamado.

En los siguientes casos se tienen valores altos de tensión de encendido:

- compresión o sobrealimentación altas,
- preparación no homogénea de la mezcla, en especial a aceleración desde el ralentí o con mezcla pobre,
- electrodos fríos y mezcla fría,
- distancia grande entre electrodos (desgaste de los electrodos).

En concepciones de motores hoy usuales con alta compresión y frecuentemente un alto grado de turbulencias, es necesaria una aplicación cuidadosa de la distancia entre electrodos, para garantizar durante la vida útil requerida una inflamación fiable y con ello un funcionamiento sin fallos de encendido.

Longitud de las chispas

La disposición relativa de los electrodos determina la longitud de las chispas.

Longitud de chispa en el aire:
La chispa de encendido descarga en un recorrido directo entre el electrodo central y el de masa de la mezcla de aire-combustible que se encuentra entre los electrodos.

Longitud de chispa deslizante:
La chispa de encendido primero se desliza desde el electrodo central por encima de la superficie del pie del aislador y salta luego por una rendija del vidrio hacia el electrodo de masa.

Mediante la proporción de longitud de chispas deslizantes en el recorrido de las chispas a una tensión de encendido dada y en comparación con la longitud de chispa en el aire se pueden superar distancias mayores entre electrodos.

Con una distancia mayor entre electrodos se mejoran las condiciones de inflamación.

Códigos de fórmulas de tipo de bujías Bosch

La designación de los tipos de bujías se determina mediante una fórmula de tipo. En la fórmula de tipo están contenidas todas las características de la bujía excepto la distancia o separación entre electrodos. Ésta se indica aparte en el envoltorio. La bujía idónea para un determinado motor la indican o recomiendan el fabricante del motor y Bosch

Forma asiento y rosca	Ejecución	Grado térmico	Longitud rosca Longitud chispa	Ejecución electrodos	Material electrodos	Tipo ejecución
W	R	7	D	T	C	X

Forma asiento y rosca

D	21 M18x1,5
F	16 M14x1,25
H	16 M14x1,25
M	26 M18x1,5
U	16 M10x1
W	21 M14x1,25
X	17,5 M12x1,25
Y	16 M12x1,25

Ejecución

B	Apantallada, estanca al agua, para resistencia-línea de encendido de 7mmØ
C	Apantallada, estanca al agua, para resistencia-línea de encendido de 5mmØ
E	Bujía de encendido de chispa deslizamiento sin electrodo de masa
G	Bujía de encendido de chispa deslizamiento con electrodo de masa
L	Bujía de encendido de chispa de deslizamiento al aire
M	Para motores deportivos
R	Con resistencia contra perturbaciones
S	Para motores pequeños

Grado térmico: 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 09, 08, 07, 06

Longitud rosca / Longitud chispa

A	12,7 / 11,2 — 1
B	12,7 / 11,2 — 3
C	19 / 17,5 — 1
D	19 / 17,5 — 3
E	9,5 — 1
F	9,5 — 3
G	12,7 — 4
H	19 / 17,5 — 7
K	19 / 17,5 — 4
L	19 / 17,5 — 5
M	25 — 3

* Bujías tipo D de rosca corta: longitud de rosca 10,9 mm

Ejecución electrodos: (sin letra), D, T, Q

Material electrodos

C	Cobre
E	Níquel-Itrio
P	Platino
S	Plata

Tipo ejecución

R	Resistencia a la erosión eléctrica
U	1,0
V	1,3
W	0,9
X	1,1
Y	1,5
Z	2,0
0	Ejecución distinta de la básica
1	Ejecución PO con electrodo de masa de níquel
2	Electrodo de masa de dos materiales
4	Pie aislador más alargado

Encendido convencional por bobina (SZ)

Muchos automóviles todavía están equipados con una instalación convencional de encendido por bobina. Cuando el interruptor del encendido está conectado y los contactos del ruptor (platinos) están cerrados, pasa corriente de la batería o del generador por el primario de la bobina de encendido y forma un fuerte campo magnético para acumular la energía. En el punto de encendido, el ruptor interrumpe la corriente, el campo magnético desaparece e induce en el secundario la alta tensión necesaria para el encendido, la cual pasa por el cable de alta tensión del borne 4 al distribuidor de encendido y de éste a la bujía correspondiente.

Existe por lo general la siguiente relación entre el número de revoluciones del motor Otto de cuatro tiempos y el número de chispas por minuto:

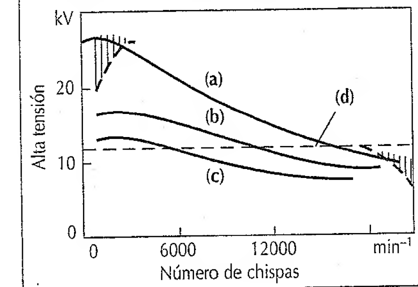
$$f = z \cdot n/2$$

siendo f el número de chispas, z el número de cilindros y n el número de revoluciones del motor.

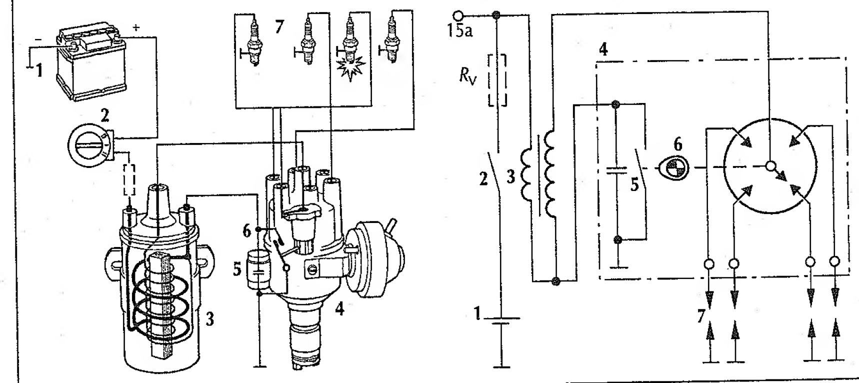
En el campo de bajo número de revoluciones, el tiempo de cierre de los contactos del ruptor es suficientemente largo para acumular la máxima energía posible de encendido. Al aumentar el número de revoluciones se acorta el tiempo de cierre y la corriente del primario se interrumpe ya con escasa intensidad de corriente. Cuando la acumulación es poca, disminuye la alta tensión de la bobina de encendido. Sin embargo, está estudiada de tal manera que incluso al número máximo de revoluciones del motor, la alta tensión que genera queda muy por encima de la necesaria para el encendido de la bujía.

Toda capa de suciedad sobre los elementos aislantes actúa como derivación óhmica y capacitiva y significa una carga de encendido en la instalación que puede presentar interrupciones de la combustión y del encendido.

Generación de alta tensión en función del número de chispas
(a) Sin derivaciones óhmicas (R > 10 MΩ)
(b) Resistencia derivada 1 MΩ
(c) Resistencia derivada 0,5 MΩ
(d) Tensión de encendido necesaria



Instalación convencional de encendido por bobina. *A la izquierda los elementos; a la derecha el esquema*
1 *Batería,* **2** *Interruptor del encendido,* **3** *Bobina,* **4** *Distribuidor,* **5** *Condensador,* **6** *Ruptor (platinos),* **7** *Bujías,* R_v *Resistencia adicional para aumentar la tensión de puesta en marcha (en general no se instala)*



Bobina de encendido
Descripción pág. 439.

Distribuidor de encendido
El distribuidor de encendido es un componente íntegro de la instalación de encendido con las siguientes funciones:
– Distribuir los impulsos de la tensión de encendido a las bujías del motor en un orden definido
– Provocar el impulso de encendido por medio del ruptor de la corriente del primario o por el emisor de impulsos en las instalaciones de regulación sin contactos
– Regular el punto del encendido por medio del avance en las instalaciones de encendido convencionales

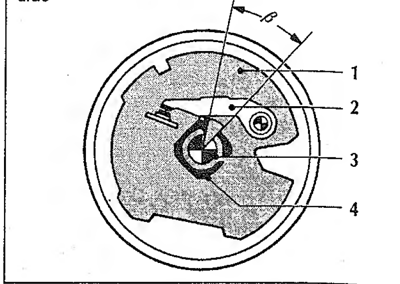
En instalaciones modernas de encendido electrónico así como en su combinación con la inyección (Motronic) el distribuidor consiste solamente en el dedo de distribución unido al árbol de levas y la tapa del distribuidor sujeta encima con las conexiones de alta tensión.

Los ruptores y el avance del encendido no pertenecen funcionalmente al distribuidor. Están unidos a él formando una misma unidad porque precisan de un accionamiento sincronizado.

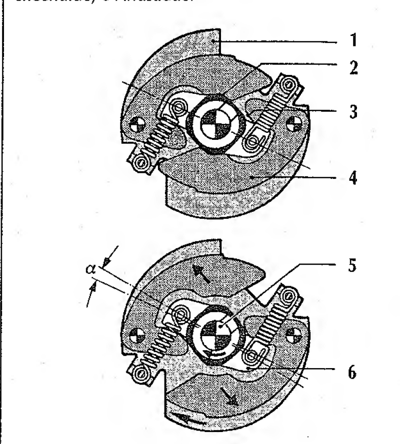
El impulso de encendido llega al electrodo rotatorio del distribuidor por medio de un contacto central y escobillas de carbón. Por medio de las chispas del distribuidor, el impulso de encendido se transmite a los electrodos fijos calados, y se conduce a las bujías a través de cables. Una tapa de protección contra el polvo separa el espacio de la alta tensión del resto de piezas del cuerpo.

Ruptor (platinos)
El ruptor tiene un contacto accionado por leva, que corta la corriente del primario de la bobina de encendido en el punto de encendido. La leva tiene tantos salientes como cilindros el motor. El ángulo de giro del árbol del distribuidor de encendido, durante el cual el contacto está cerrado se llama ángulo le cierre β.
En el ruptor tienen lugar desgastes naturales por tres causas:
– Quemadura de los contactos
– Abrasión del pitón de la palanca
– Deformación plástica y compresiones locales del metal de los contactos

Ruptor (platinos)
1 Placa portarruptor móvil, 2 Palanca del ruptor, 3 Árbol del distribuidor de encendido, 4 Levas del encendido



Variador de avance centrífugo en posición de reposo (arriba), en posición de trabajo (abajo)
1 Placa del eje, 2 Levas de encendido, 3 Pista de rodadura, 4 Masa centrífuga, 5 Árbol del distribuidor de encendido, 6 Arrastrador



La quemadura de los contactos se produce por chispas disruptivas (las chispas de la apertura) a consecuencia de la tensión de inducción al interrumpirse la corriente del primario. El condensador del encendido tiene verdaderamente propiedades apagachispas, pero no puede suprimir del todo las chispas disruptivas. La quemadura y la abrasión actúan en sentido opuesto, y como casi siempre es mayor el efecto de la abrasión, provoca un desplazamiento del punto del encendido en el sentido de "encendido retardado".

Variador del punto de encendido
Los distribuidores del encendido tienen por lo general dos dispositivos de avance del punto de encendido: uno dependiente del número de revoluciones regulado por fuerza centrífuga (avance centrífugo) y otro dependiente de la carga, regulado por la depresión del tubo de aspiración (avance por vacío).

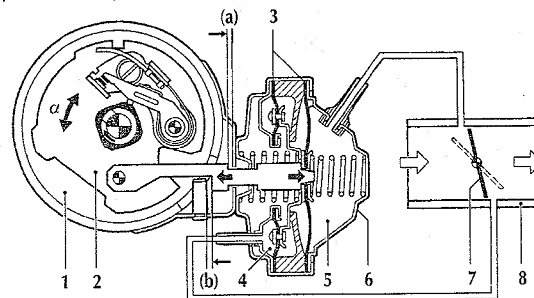
Variador centrífugo
El variador centrífugo fija el punto del encendido en función del número de revoluciones del motor. La placa solidaria al árbol del distribuidor lleva unas masas centrífugas que se separan al aumentar el número de revoluciones y hacen que gire el arrastrador por la pista de rodadura en sentido opuesto al del árbol del distribuidor. Con ello giran también las levas de encendido respecto al árbol del distribuidor un cierto ángulo de regulación α. El punto de encendido se avanza ese ángulo.

Variador por vacío
El variador por vacío fija el punto del encendido en función de la potencia o de la carga del motor. Como medio para esta variación del punto de encendido se utiliza el vacío del tubo de aspiración cerca de la mariposa de estrangulamiento. El vacío se conduce hacia dos cápsulas de membrana.

Función del sistema de variación en sentido hacia "avance"
Cuanto menor es la carga, antes debe encenderse la mezcla de aire y combustible, porque quema más lentamente. La proporción de gases residuales quemados pero no expulsados de la cámara de combustión aumenta y la mezcla se hace más pobre. La depresión para la regulación del avance se toma delante de la mariposa de estrangulamiento. Al bajar la carga del motor se eleva la depresión en la cápsula de membrana de avance y produce un movimiento de la membrana hacia la derecha, junto con la barra de tracción que hace girar el disco del ruptor en sentido contrario al de giro del árbol del distribuidor, con lo cual se adelanta más el punto del encendido, es decir, se avanza.

Función del sistema de variación en sentido hacia "retardo"
La depresión en el tubo de aspiración se toma en este caso detrás de la mariposa de estrangulamiento. Con ayuda de la "cápsula de retardo" circular, el punto de encendido para diferentes estados del motor (por ejemplo, ralentí, marcha con el motor frenado) se retrasa para mejorar los gases del escape, es decir, se regula en retardo. La membrana circular se mueve junto con la barra de tracción hacia la izquierda tan pronto como hay depresión. La barra de tracción hace girar el disco del ruptor, incluido éste, en el mismo sentido que el de giro del árbol del distribuidor. El sistema de variación en sentido hacia "retardo" trabaja independientemente del sistema de variación de avance, pero está subordinado al mismo: una depresión simultánea en ambas cápsulas produce la variación "retardo" correspondiente a la carga parcial en sentido de "avance".

Variador por vacío con sistema de variación de avance ("cápsula de membrana de avance") y de retardo ("cápsula de membrana de retardo")
(a) Carrera de variación de "avance" hasta el tope, (b) Carrera de variación de "retardo" hasta el tope. 1 Distribuidor de encendido, 2 Disco del ruptor, 3 Membrana, 4 Cápsula de membrana de retardo, 5 Cápsula de membrana de avance, 6 Cápsula de depresión, 7 Mariposa, 8 Tubo de aspiración



Encendido transistorizado (TZ)

La energía del encendido y la alta tensión de la bobina de encendido convencionales están limitadas por la capacidad eléctrica y mecánica de conmutación del ruptor. En el encendido por batería hay unas exigencias que a menudo no puede cumplir el ruptor como interruptor de potencia. En las instalaciones de encendido electrónicas se descarga por medio de elementos semiconductores o por dispositivos de mando sin desgaste. El encendido por bobina transistorizado, o encendido transistorizado, puede ser con contactos o sin ellos.

El encendido transistorizado con bobina y contactos (TSZ-K) es muy apropiado para montar posteriormente en los sistemas convencionales de encendido por bobina (SZ). Como equipo original el encendido por bobina transistorizado con mando por contactos ya no se instala.

Encendido transistorizado con mando sin contactos

En el encendido transistorizado con mando sin contactos, en vez del ruptor accionado por levas hay un "generador de impulsos de encendido", que activa el sistema electrónico por medio de impulsos de tensión o de corriente generados sin contactos y produce así el impulso de encendido de alta tensión. El generador de impulsos está colocado en el distribuidor de encendido.

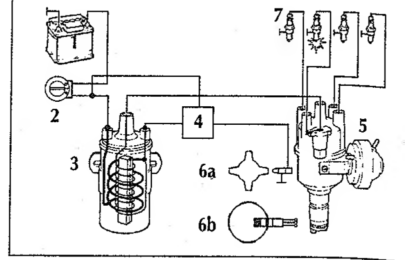
Los generadores de impulsos pueden estar basados en dos principios.

Generador de impulsos según el principio de la inducción (TZ-I)

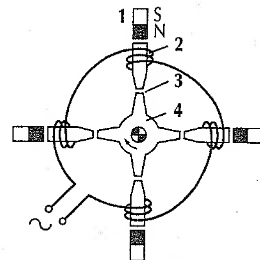
El generador de inducción es un generador de corriente alterna permanentemente excitado, compuesto de estator y rotor. El número de dientes corresponde al número de cilindros del motor. La frecuencia y la amplitud de la tensión alterna generada dependen del número de revoluciones del motor. Esta tensión alterna se transforma en el aparato conmutador y se utiliza para la variación del punto de encendido.

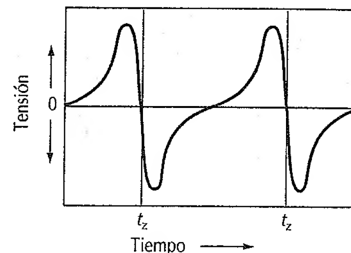
Generador de impulsos de encendido según el principio Hall (TZ-H)

Estos generadores de impulsos de encendido utilizan el efecto Hall. En una capa de semiconductor atravesada por la corriente se obtienen impulsos de tensión por medio de un campo magnético dependiente del número de revoluciones, que en el aparato conmutador origina la conexión y desconexión de la corriente del primario.



Instalación de encendido por bobina transitorizado, con mando sin contactos
1 *Batería,* **2** *Conmutador del encendido,* **3** *Bobina de encendido,* **4** *Bloque electrónico,* **5** *Distribuidor del encendido con variador centrífugo y por vacío,* **6a** *Generador por inducción,* **6b** *Generador Hall (alternativa),* **7** *Bujías*





Distribuidor de encendido con generador por inducción
1 *Imán permanente,* **2** *Bobinado de inducción con núcleo,* **3** *Entrehierro variable,* **4** *Rueda generadora de impulsos*

Los generadores de impulsos de encendido tienen claras ventajas sobre los ruptores mecánicos: trabajan sin desgaste y por tanto no precisan mantenimiento. El punto de encendido se fija exactamente con todas las ventajas que supone para el funcionamiento del motor.

Bloques electrónicos

Los bloques electrónicos para el encendido transistorizado regulan hoy día casi sin excepción la corriente del primario y el ángulo de cierre.

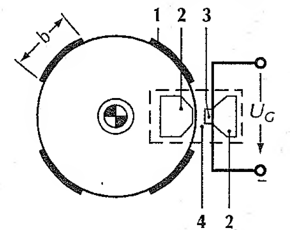
La regulación de la corriente del primario limita éste para proteger la bobina de encendido y la etapa final. Junto con una bobina de encendido de baja resistencia en el primario cuida de lograr que en la puesta en marcha haya corriente alta con la baja tensión de la batería. De este modo se puede evitar colocar resistencias adicionales delante de la bobina y el puenteo para el arranque.

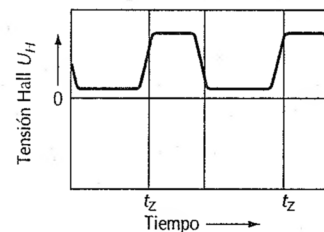
La regulación del ángulo de cierre cuida de que la regulación de la corriente en la zona de regulación trabaje sólo el tiempo más corto posible, para que las pérdidas de potencia en el bloqueo electrónico sean mínimas. Además, la regulación del ángulo de cierre compensa las oscilaciones de tensión de la batería con los efectos de la temperatura de la bobina de encendido. Según como esté preparado el sistema, la regulación del ángulo de cierre actúa hasta la mitad del campo del número de revoluciones. A número de revoluciones elevado, el ángulo de cierre viene determinado por el tiempo necesario de abertura para la duración del encendido de la chispa. La energía sobrante que queda en la bobina al final del tiempo de abertura facilita su carga completa con tiempo reducido de cierre.

La desconexión de la corriente en reposo desconecta la corriente del primario al pararse el motor con el encendido conectado, de forma que la tensión del secundario no produzca chispas en la bujía. Existe sin embargo el encendido transistorizado TZI (con generador de impulsos) con ausencia de corriente en reposo.

El TZ en ocasiones es accionado con aparatos adicionales que influyen en la regulación del encendido. Ejemplos de ello son el proporcionado entre el generador Hall y el bloqueo electrónico TZ y la estabilización de marcha al ralentí, que al reducirse el número de revoluciones por debajo del ralentí, desplaza el ángulo de encendido hacia la posición de avance y con la elevación del par de giro correspondiente, contrarresta la reducción del número de revoluciones. Otro ejemplo es la variación electrónica en la dirección retardo (ESV), que con un número de revoluciones alto se desplaza hacia retardo el ángulo de encendido, para evitar que se produzca el picado del motor. La ESV va paralela al bloqueo electrónico TZ. Las dos últimas funciones citadas están hoy integradas en el encendido de variación electrónica (EZ).

En los bloqueos electrónicos TZ se ha impuesto el aparato híbrido, pues a su montaje compacto une su poco peso y seguridad. En la técnica híbrida se substituye la placa conductora por un substrato de Al_2O_3, sobre el que se imprimen por estampación conductores y resistencias. Los elementos semiconductores y los condensadores completan la instalación en forma de chips. Como el Darlington de potencia en forma de chip está aislado de la placa base metálica, existe una excelente refrigeración que permite temperaturas más altas.





Distribuidor del encendido con generador Hall
1 *Pantalla de ancho b,* **2** *Pieza conductora magnéticamente blanda,* **3** *Hall-IC,* **4** *Entrehierro,* U_G *Tensión del generador (tensión de Hall transformada)*

Bobinas de encendido (descripción en pág. 439)

Las bobinas para el TZ en comparación con las convencionales se diferencian en la potencia. No confundir entre sí las bobinas de encendido para SZ y TZ pues no son intercambiables.

Encendido por descarga de condensador de alta tensión (HKZ)

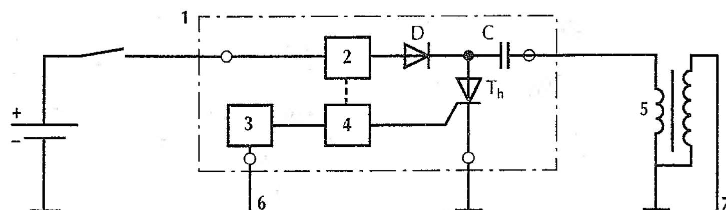
El HKZ, también denominado "encendido por tiristores", trabaja según un principio distinto al descrito hasta ahora para los sistemas de encendido. Fue desarrollado para los motores deportivos y de carreras muy revolucionados y de gran potencia, así como para los motores de pistones rotatorios.

Una característica importante del encendido por condensador de alta tensión es que la energía del encendido se acumula en el campo eléctrico de un condensador. La capacidad y la tensión de carga del condensador determinan la magnitud de la energía acumulada. El transformador del encendido transforma la tensión del primario por descarga del condensador en la alta tensión necesaria. El encendido por condensador de alta tensión puede ser regulado por contactos o sin contactos.

La ventaja principal del HKZ es su gran insensibilidad a las derivaciones eléctricas en el circuito del encendido, especialmente en las bujías sucias. La duración de la chispa de 0,1 a 0,3 ms es para muchos casos demasiado corta para inflamar con seguridad la mezcla de aire y combustible. Por este motivo el HKZ está pensado sólo para determinados motores y hoy día sólo se utiliza en casos especiales, ya que los datos de potencia del encendido transistorizado son prácticamente iguales. El HKZ no es apropiado para el montaje posterior en instalaciones existentes.

Mediante el uso de una bobina de encendido por cilindro y la distribución de la energía al nivel de tensión media se puede conseguir en la HKZ una distribución constante sin distribuidor.

Instalación de encendido por condensador de alta tensión con generador de inducción
Esquema general
1 *Bloqueo electrónico,* **2** *Parte de carga,* **3** *Modulador de impulsos,* **4** *Parte de mando,* **5** *Transformador de encendido,* **6** *Al generador de impulsos,* **7** *Al distribuidor del encendido*



Riesgo de accidentes

Todas las instalaciones de encendido electrónico (TZ, HKZ, MHKZ, MTZ, EZ, VZ) son peligrosas. Básicamente, al trabajar en instalaciones de encendido hay que desconectar éste o desembornar la fuente de alimentación. Tales trabajos son, por ejemplo:

– La substitución de piezas tales como bujías, bobinas, o el transformador de encendido, el distribuidor, los cables, etc.

– La conexión de aparatos de comprobación del motor, como la pistola de encendido, el tacómetro comprobador del ángulo de cierre, el oscilógrafo del encendido, etc.

Al hacer comprobaciones en la instalación de encendido con el encendido conectado se producen tensiones peligrosas en toda la instalación. Por tal motivo los trabajos de comprobación sólo los debe realizar personal especializado.

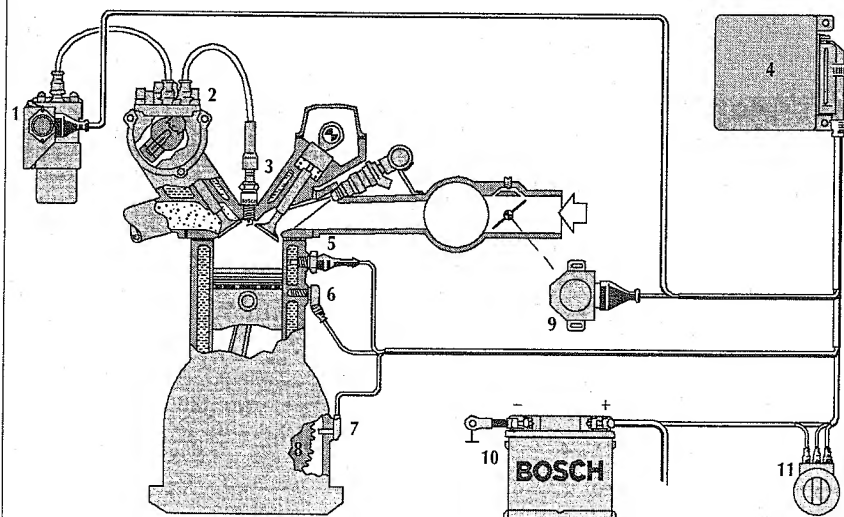
Encendido electrónico (EZ, VZ)

El encendido electrónico debe su nombre a la consecución electrónica del punto de encendido. El diagrama característico del ángulo de encendido óptimo electrónico, sustituye a las curvas características de fuerza centrífuga y de vacío del distribuidor de encendido. En la EZ la distribución de la alta tensión todavía se produce mecánicamente. En el encendido totalmente electrónico VZ unos componentes que trabajan de forma estática, con mando electrónico, sustituyen a la distribución mecánica rotatoria de alta tensión.

Los sistemas de encendido electrónico trabajan con más precisión que los sistemas mecánicos, en especial por el mando desde el cigüeñal en vez del distribuidor de encendido (eliminación de las tolerancias del distribuidor). Son posibles campos característicos no limitados por el ajuste mecánico (suma de las líneas del número de revoluciones y de carga en una sola pendiente) y en principio sin limitación del número de valores de entrada. De esta forma se aumenta generalmente el intervalo de regulación del ángulo de encendido. El distribuidor de encendido acoplado de forma rígida, dependiente del intervalo de ajuste del ángulo de encendido y del requerimiento de tensión de encendido del motor está sobrecargado en un número mayor de cilindros del motor y ya no asegura una distribución de la chispa de encendido. Una solución es la división en dos circuitos de encendido (p.ej. en el motor de 8 ó 12 cilindros) o bien la distribución constante (estática) de la tensión.

La combinación del encendido electrónico con la inyección electrónica (Motronic), la regulación de la combustión detonante, ASR, etc., permiten el uso conjunto de sensores y/o de señales preparadas por otros dispositivos. El acoplamiento de instalaciones más nuevas mediante un bus de serie (CAN, pág. 800) reduce adicionalmente el número de conducciones y de conexiones a la entrada de los dispositivos de conmutación.

Esquema de una instalación de encendido electrónico (EZ)
1 *Bobina de encendido con terminal de encendido,* **2** *Distribuidor de alta tensión,* **3** *Bujía,* **4** *Dispositivo de mando,* **5** *Sensor de temperatura del motor,* **6** *Sensor de picado,* **7** *Sensor de número de revoluciones y de marcas de referencia,* **8** *Rueda dentada dadora de impulsos,* **9** *Interruptor de la válvula de mariposa,* **10** *Batería,* **11** *Interruptor de encendido y arranque*



Encendido electrónico, procesamiento de señales
1 Número de revoluciones del motor, 2 Señales del conmutador, 3 CAN (bus de serie), 4 Presión tubo aspiración, 5 Temperatura del motor, 6 Temperatura del aire aspirado, 7 Tensión de la batería, 8 Microprocesador, 9 Conmutador analógico/digital, 10 Paso de potencia

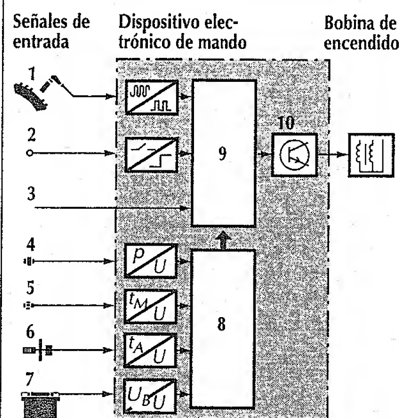
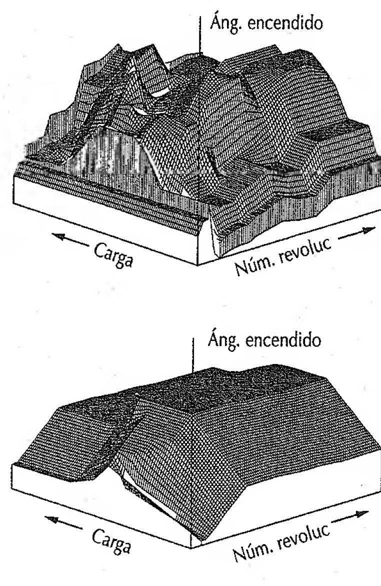


Diagrama característico del encendido
Arriba: Electrónico optimizado
Abajo: Sistema regulable mecánico



Funcionamiento

El número de revoluciones y la posición del cigüeñal se miden directamente en la corona dentada del motor de arranque, en un disco aparte o en una serie de puntas especiales con uno o dos sensores de varilla inductivos. Según como se realice la información, ya sea mediante dientes distribuidos de forma regular en el cigüeñal o en un segmento del cigüeñal por par de cilindros se diferencia entre impulsos dados por incremento o por segmentos:

- comienzo del segmento = ángulo de encendido más adelantado,
- final de segmento = ángulo de arranque.

En el sistema de incremento la marca de referencia (representada como hueco de diente) indica una posición definida del cigüeñal, a partir de la cual los dientes de la corona dentada permiten la detección eléctrica del ángulo del cigüeñal. También es posible la conexión con un distribuidor de encendido que no tenga mecanismo de graduación. En este caso la conexión se hace con un generador Hall. La carga se mide ventajosamente con un sensor de presión absoluta en el tubo de aspiración. Así se puede tener más en cuenta la carga de llenado del cilindro que con los orificios corrientes para la graduación de avance o retardo en la mariposa de estrangulamiento. También resultan posibles los conmutadores de carga, el potenciómetro de la mariposa de estrangulamiento o las señales de carga electrónica de los sistemas de preparación de mezcla. Con el número de revoluciones y la información de la carga y después de ser previamente procesados los datos, el microprocesador calcula en la unidad de control electrónico el ángulo de encendido exacto dentro del diagrama característico de encendido. La unidad de control puede también procesar otras magnitudes de entrada, tales como, por ejemplo: temperatura del motor o información sobre el motor impulsado o de plena carga de un conmutador de la mariposa de estrangulamiento, en forma de valores de corrección o una función necesaria para el vehículo en particular. El ángulo de cierre para la carga de la bobina de encendido también lo da la unidad de control. Por medición de la tensión de la batería se puede conseguir la corrección de su tensión. Si la tensión de la batería se desvía del valor nominal, el tiempo de carga de la bobina se acorta o alarga según convenga, con lo cual se asegura que existe siempre el suministro máximo de alta tensión, manteniendo al mismo tiempo al mínimo el calentamiento de la unidad de control y de la bobina de encendido. Con un número de revoluciones por debajo de las de puesta en marcha desconecta la unidad de control la bobina de encendido para evitar su recalentamiento. La etapa final de potencia, que corresponde a la función TZ, puede estar incorporada en la unidad de control EZ o ser exterior, como por ejemplo, en la bobina de encendido.

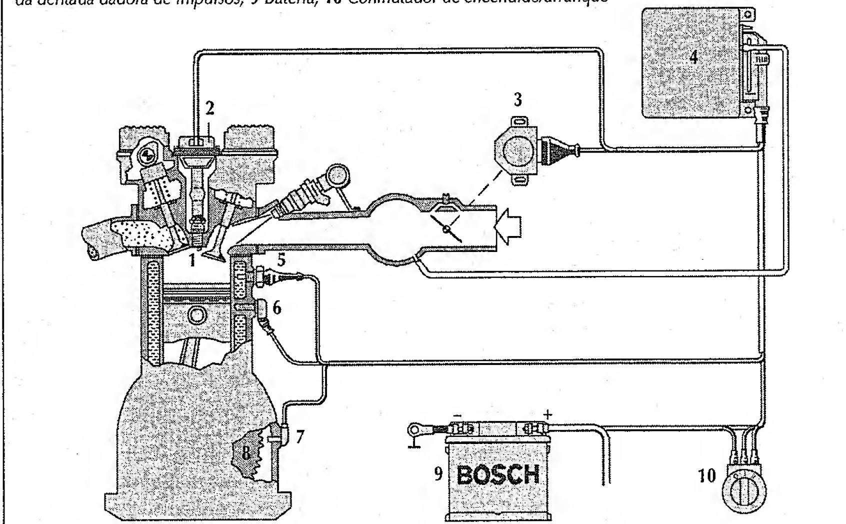
Procesamiento de señales en la unidad de control

Las señales digitales después de su preparación van directamente a la unidad de control. Las señales analógicas se convierten primeramente en señales digitales. Pero también hay unidades de control que emiten señales adicionales digitales o analógicas (por ejemplo, marcha con el motor frenado, recirculación de gases de escape, etc.). En conjunto existe una serie de variantes EZ de diferente complejidad. La comparación del campo característico del encendido con las líneas características de un distribuidor de encendido muestra que cada punto del campo característico puede ser determinado independientemente de los demás. Con ello es posible la determinación óptima del ángulo de encendido (p.ej. según el criterio de consumo) según el rango de funcionamiento del motor y según las limitaciones como gases de escape, límite de picado o movilidad. La totalidad de la instalación está completamente exenta de mantenimiento y no necesita ningún ajuste durante la vida del motor.

Distribución rotatoria de encendido

Un distribuidor de alta tensión distribuye los impulsos de tensión de encendido (descritos) de forma fiable en los cilindros correspondientes. Si a número mayor de cilindros no es suficiente el rango de ajuste del distribuidor de encendido, se distribuye mediante dos circuitos de distribución, p.ej. en el motor de ocho cilindros mediante dos distribuidores de cuatro cilindros. La sincronización en el "dos veces cuatro cilindros" puede efectuarse desde el cigüeñal, pero en el "dos veces tres cilindros (hasta ahora no realizado)", con distancia

Esquema de una instalación de encendido totalmente electrónico (VZ)
1 Bujía, 2 Bobina de una chispa, 3 Conmutador de la mariposa de estrangulamiento, 4 Dispositivo de mando, 5 Sensor de temperatura del motor, 6 Sensor de picado, 7 Sensor de número de revoluciones y de marcas de referencia, 8 Rueda dentada dadora de impulsos, 9 Batería, 10 Conmutador de encendido/arranque



constante del ángulo de encendido, debe efectuarse a partir del árbol de levas.

Distribución estática de tensión (RUV)

Instalación con bobina de encendido de una chispa
Cada cilindro dispone de una bobina de encendido colocada directamente encima de la bujía o en otro lugar separado con su terminal de encendido correspondiente. Son necesarios una sincronización con el sensor en el árbol de levas o un procedimiento de detección del cilindro comprimido. Al fallar el sensor del árbol de levas se efectúa un funcionamiento de emergencia en motores con número par de cilindros mediante impulsos de mando desde el cigüeñal, pero entonces siempre con mando simultáneo de dos bobinas (una chispa va al tiempo de expulsión). Este sistema, para motores de cualquier número de cilindros, tiene los mayores grados de libertad en relación al ajuste, ya que se produce solamente una chispa por ciclo.

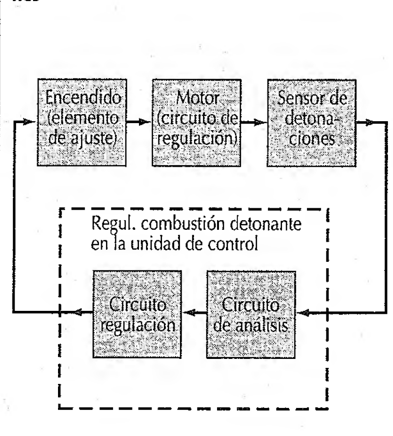
Instalación con bobina de dos chispas
Cada dos cilindros hace falta una bobina de encendido. La sincronización puede efectuarse desde el cigüeñal. Cada uno de los finales del bobinado de alta tensión va a la bujía correspondiente a dos cilindros alternados 360°.

Dado en el tiempo de expulsión se produce una “chispa de apoyo” hay que asegurarse de que no se produzca ninguna inflamación de gas restante o de gas fresco aspirado. Además, la bobina de dos chispas se presta solamente a los motores con un número par de cilindros. Debido a los costes son menores en comparación con las bobinas de una chispa, actualmente las instalaciones con bobina de dos chispas son la distribución estática de encendido más difundida.

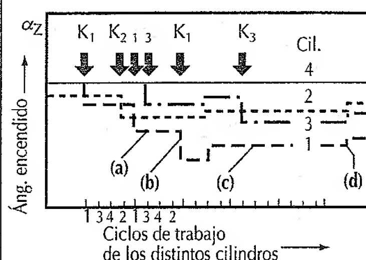
Regulación de la combustión detonante

Cometido
Si el motor funciona con combustión detonante se estropea (página 366). Los motores tienden más a la combustión detonante cuando la relación de compresión para reducir el consumo de combustible se eleva y cuando varían las calidades del combustible. La misión de la regulación de la combustión detonante es hacer que no se produzca en ninguna condición de trabajo. Al aumentar la compresión, el límite de la combustión detonante suele quedar por la zona del ángulo de encendido que da el consumo mínimo, o más retrasado. Sin embargo, con la regulación contra la combustión detonante se puede trabajar con el motor en esa zona, sin que haya que preocuparse de tener en cuenta el margen de seguridad.

Esquema de una regulación de las detonaciones



Regulación de detonación. *Algoritmo de regulación para influir en el encendido en un motor de 4 cilindros*
$K_{1...3}$ Aparición de la detonación en los cilindros 1...3 (en el cilindro 4 no hay picado)
(a) *Tiempo de permanencia antes de la regulación en retardo* **(b)** *Profundidad del descenso,* **(c)** *Tiempo de permanencia antes de la regulación inversa,* **(d)** *Regulación en la dirección avance*



Funcionamiento
Un sensor de detonaciones capta el sonido del cuerpo en un lugar de instalación adecuado del motor y lo transforma en señal eléctrica, que es conducida a la unidad electrónica de regulación. Un circuito de análisis de la unidad de regulación ajusta la amplitud del ruido de tal forma que lo mismo con número de revoluciones bajo que alto, que con motores silenciosos o ruidosos, la señal se puede procesar. Una “ventana de medición” sincronizada con el cigüeñal y un pasabanda filtran las informaciones típicas para el picado. La comparación con la señal de combustiones sin picado lleva a la decisión de si hay picado o no lo hay. El circuito de regulación influye en el motor a través de un elemento final de control de forma que desaparece el picado. El punto del encendido como magnitud posicionadora es muy apropiado, ya que con el mismo se logra la más rápida actuación.

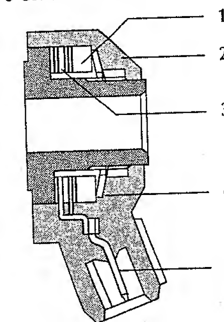
Al presentarse el picado, se retrasa el encendido durante un número determinado de ciclos y luego se va acercando de nuevo progresivamente al valor inicial.Para ello hay que procurar que la graduación en el sentido de retardo se pueda realizar por separado para cada uno de los cilindros.

El objetivo es que, cuando haya picado, se pueda influir en el cilindro que pique y dejar que los demás sigan funcionando en un óptimo.

Regulación de la combustión detonante en los motores turbo
En los motores turbo, como magnitudes de fijación, además de la actuación sobre el ángulo del encendido, también se puede conseguir modificar la sobrealimentación o presión en el tubo de aspiración. En la figura, el sensor del picado está entre los cilindros 2 y 3 en el lado de la aspiración. El microordenador gradúa el encendido y, a través de la válvula de sincronización, a la válvula de regulación en el lado del escape para evitar la turbina. De este modo disminuye la presión de sobrealimentación y con ella el picado. La toma de presión del tubo de aspiración sirve de información de la sobrealimentación.

Junto con la medida de la posición de la mariposa de regulación, en este sistema también es posible regular la presión de sobrealimentación, que en el caso de funcionamiento estático, evita las presiones elevadas, disminuye la contrapresión de los gases de escape y reduce así el consumo (“Regulación de la presión de alimentación”, págs. 426 y 475).

Sensor de detonaciones
1 Masa sísmica, 2 Masa de fundición, 3 Piezocerámica, 4 Contactos, 5 Conexión eléctrica



Regulación de la combustión como función adicional
La regulación de la combustión se puede combinar muy fácilmente con un encendido electrónico. Igualmente es corriente la combinación con el Motronic (pág. 481).

Sensor de detonaciones
El sensor de detonaciones se fija y monta en un lugar adecuado para que reconozca bien todos los cilindros. Las vibraciones del sonido en el cuerpo del bloque del motor se transmiten al disco anular piezocerámico. Con ello se produce una tensión alterna proporcional en la superficie del disco, que se transmite al regulador electrónico a través de un conductor blindado.

Para un número mayor de cilindros, según las circunstancias son necesarios dos sensores de detonaciones; mediante sincronización con el árbol de levas se conmuta el sensor de detonaciones correspondiente al cilindro que se haya de comprobar.

Dispositivos de control
Puesto que si se produce un fallo en la regulación de la combustión detonante el conductor debe saberlo, la unidad de control comprueba continuamente todos los sensores para observar su correcto comportamiento y a sí mismo para ver si da la reacción correcta y protege al motor, por

ejemplo, por medio de una regulación constante en retardo del ángulo de encendido. Si se produce un fallo o cuando la regulación llega al tope, se puede indicar en el cuadro de instrumentos.

Transporte del combustible mediante bomba eléctrica

Misión

La bomba eléctrica de combustible debe aportar al motor, en todas las condiciones de funcionamiento, suficiente combustible con la presión requerida para la inyección. Las principales exigencias son:
- caudal de transporte a tensión nominal entre 60 y 200 l/h,
- presión en el sistema de combustible entre 300 y 400 kPa,
- inicio de obtención de presión a partir del 50 al 60% de la tensión nominal; determinante para ello es el arranque en frío.

Construcción

La bomba eléctrica de combustible consta de:
- tapa de conexión con conexiones eléctricas, válvula de retención (contra fugas del sistema de combustible) así como también de la salida de combustible. Normalmente la tapa de conexión incluye a las escobillas de carbón para el funcionamiento del motor de accionamiento, del conmutador y de los elementos para la supresión de interferencias electromagnéticas (bobinas de inductancia y eventualmente condensadores).
- Motor eléctrico con inducido e imanes permanentes (para el funcionamiento con combustibles especiales de fuerte efecto electrolítico, u otros efectos que influyan negativamente en el sistema de escobilla de carbón/conmutador; se están desarrollando accionamientos de la bomba de combustible eléctrica conmutados electrónicamente).
- El cuerpo de la bomba se ejecuta como bomba volumétrica o como bomba hidrodinámica.

Bomba volumétrica

Básicamente en una bomba volumétrica se aspiran volúmenes de líquido y por rotación del elemento de la bomba en una cámara estanca, se transportan (exceptuando las fugas) al lado de alta presión. En la bomba eléctrica de combustible se utilizan la bomba de celdas de rodillos y la bomba de rueda dentada interior. Las bombas volumétricas son ventajosas para altas presiones (400 kPa y superiores) y se comportan bien a baja tensión, es decir una línea característica de transporte relativamente "plana" a la tensión de funcionamiento. El rendimiento puede llegar hasta el 25%. Según la ejecución de sus piezas y el montaje, las inevitables pulsaciones de presión pueden causar ruidos. Otro inconveniente que aparece de vez en cuando es la caída del caudal transportado con gasolina caliente (depende del lugar de montaje), cuando en vez de transportarse volúmenes de líquido se transportan volúmenes de gas. Por esto las bombas volumétricas usuales tienen etapas previas de eliminación de gases.

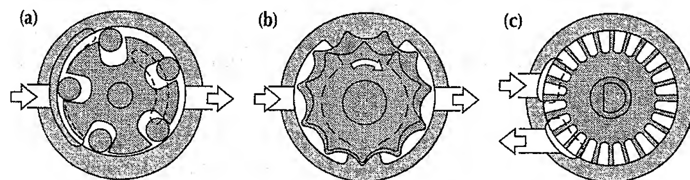
Bomba hidrodinámica

Para la bomba eléctrica de combustible se ha impuesto el principio de la bomba periférica. Un rodete provisto de numerosas palas en sus circunferencia gira dentro de una cámara estacionaria que consta de dos partes. Estas partes del cuerpo tienen en la zona de las palas un canal. Los canales comienzan a la altura del orificio de aspiración y terminan donde el combustible abandona la bomba con su presión del sistema. Entre el comienzo y el final del canal se encuentra el "interruptor" para evitar fugas interiores. Para mejorar las propiedades de transporte en caliente, a una distancia angular determinada de la abertura de aspiración hay un orificio para la eliminación de gases que posibilita (aceptando una pequeña fuga) la salida de eventuales burbujas de gas.

La presión se forma a lo largo del citado canal por el intercambio de impulsos entre las palas del rodete y las partículas de líquido. Consecuencia de ello es una rotación en espiral del volumen de líquido que se encuentra en el rodete y en los canales.

Las bombas hidrodinámicas son poco ruidosas, ya que la formación de la presión se produce casi sin pulsaciones y de forma continua. La construcción es mucho más sencilla que la de las bombas volumétricas. Con bombas de una sola etapa se alcanzan presiones del sistema hasta de 400 kPa. En los sistemas actuales de inyección apenas se usan presiones mayores que éstas. El rendimiento de los modelos realizados está entre el 10 y el 15%; para el futuro se aspira llegar al 20% mediante optimización de detalles. Los sistemas actuales de combustible de vehículos con motores Otto contienen casi exclusivamente bombas hidrodinámicas para el transporte del combustible.

Principios de bombeado de bombas eléctricas de combustible
(a) Bomba de celdas de rodillos, (b) Bomba de rueda dentada interior, (c) Bomba periférica

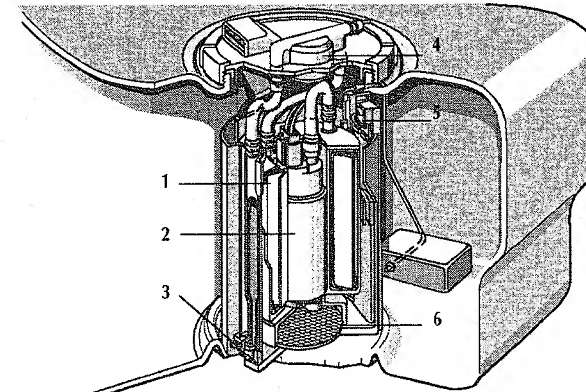


Inclusión de la bomba de combustible en el depósito y sistema de inyección

Mientras que a comienzos de la inyección electrónica de gasolina la bomba de combustible se colocaba casi exclusivamente en los exteriores del depósito (en línea), predomina hoy en día, en especial en aplicaciones nuevas, la inclusión de la bomba de combustible en el depósito. De este modo la bomba de combustible es parte de la "unidad de montaje depósito", que cada vez contiene un número mayor de elementos: filtro de aspiración, recipiente para reserva de combustible en marcha en curvas (las más de las veces llenado "activamente" mediante una bomba eyectora de aspiración o una fase previa separada de la bomba eléctrica de combustible), indicador de nivel, así como también conexiones eléctricas e hidráulicas.

Una ulterior etapa de desarrollo la forman los "sistemas de combustible sin retención" (RLFS), mayoritariamente unidades de montaje de depósito con regulador de presión integrado, el cual se ocupa de su retención en el interior de la unidad de montaje de depósito. Igualmente se puede incluir el filtro fino de combustible en el lado de presión.

Unidad de montaje de depósito, solución completa para un sistema exento de retención
1 Filtro de combustible, 2 Bomba elécrica de combustible, 3 Bomba eyectora regulada, 4 Regulador de presión, 5 Indicador de nivel, 6 Filtro previo



Formación de la mezcla

La formación de la mezcla en motores Otto se compone de:

- Dosificación de la mezcla según cantidad y composición,
- preparación de la mezcla,
- transporte de la mezcla y
- distribución de la mezcla.

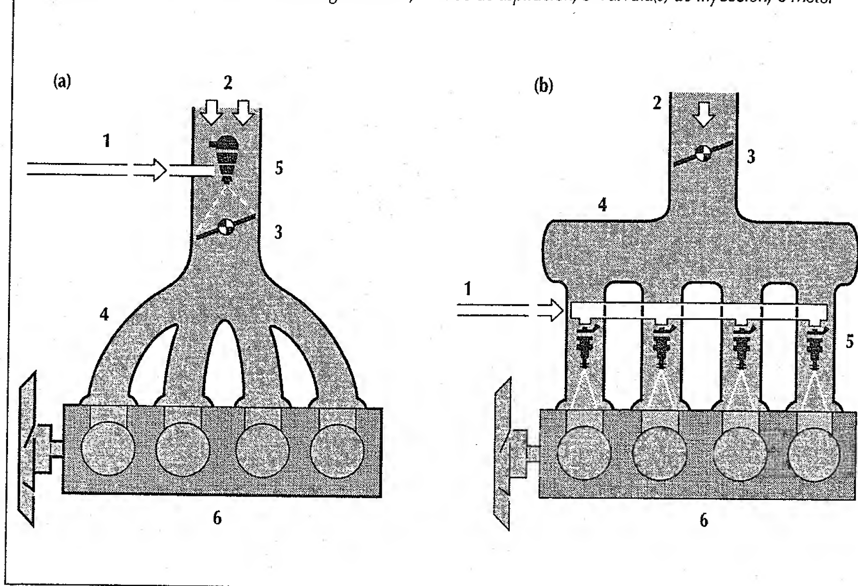
Mientras que la válvula de estrangulamiento accionada por el conductor dosifica la cantidad de mezcla, el formador de la mezcla regula su composición de la mezcla. Para esto hay que aportarle correctamente dosificada la cantidad de aire aspirada por el motor para el combustible.

La preparación de la mezcla depende principalmente del tipo de formador de mezcla. Generalmente el combustible entra en el tubo de aspiración en forma de gotitas. Durante el recorrido hacia la válvula de admisión las gotitas de combustible se convierten, en parte, en vapor de combustible (deseado) o forman una lámina en la pared (no deseada). En una formación centralizada de la mezcla la preparación se mejora principalmente por la pulverización en la válvula de estrangulamiento así como también por la evaporación en las paredes calientes del tubo de aspiración. En instalaciones de inyección individual la evaporación en la válvula caliente de admisión mejora la buena preparación en la válvula de inyección.

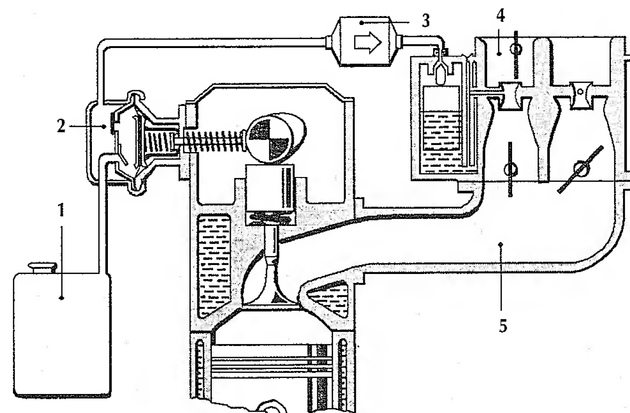
El transporte y la distribución de la mezcla se efectúan en el tubo de aspiración en el caso de preparación centralizada de la mezcla. Por ello la conformación de dicho tubo influye mucho en estos dos procesos; una distribución uniforme de la mezcla es difícil de obtener.

En una formación de mezcla descentralizada, o sea en instalaciones de inyección individual, por la mayor parte del tubo de aspiración para una corriente de aire puro. El combustible en la mayoría de los casos es inyectado justo poco antes de la válvula de admisión. Así se dan las mejores condiciones para la distribución uniforme de la mezcla.

Formación de la mezcla
(a) *Inyección centralizada,* **(b)** *Inyección individual*
1 *Combustible,* **2** *Aire,* **3** *Válvula de estrangulamiento,* **4** *Tubo de aspiración,* **5** *Válvula(s) de inyección,* **6** *Motor*



Esquema de una instalación de carburador
1 *Depósito de combustible,* **2** *Bomba de combustible,* **3** *Filtro de combustible,* **4** *Carburador,* **5** *Tubo de aspiración*



Carburadores

Instalación

El combustible es aspirado del depósito de combustible por la bomba de transporte (generalmente una bomba de membrana), accionada por el árbol de levas o por el eje del distribuidor, y luego transportado hacia el carburador. El dimensionado adecuado limita la presión máxima de transporte. En caso de necesidad se puede incorporar un filtro fino para el combustible antes o después de la bomba.

Tipos de construcciones de carburadores

Carburadores de flujo descendente (de gravedad)

Los carburadores de flujo descendente son el tipo más corriente de carburador. Por su favorable posibilidad de disposición de la cámara del flotador y de los diferentes sistemas de surtidores resultan modelos muy apropiados, los cuales consiguen, junto a tubos de aspiración apropiados, la preparación y reparto óptimos de la mezcla.

Carburadores de flujo horizontal

El carburador de flujo horizontal (conocido también como carburador de presión constante y de difusor de aire fijo) ofrece ventajas cuando la posición del motor tiene que ser muy baja.

Los carburadores de presión constante trabajan con secciones de paso de aire variables y depresión constante a la salida del combustible. La variación de la sección de paso del aire se realiza por medio de un distribuidor axial accionado neumáticamente y la regulación de la cantidad de combustible por medio de una aguja fijada al émbolo.

Disposiciones de la cámara de mezcla

El carburador simple de una cámara de mezcla es la ejecución de menor coste.

El carburador de dos cámaras de mezcla ofrece ventajas en la adaptación, de manera que ha llegado a ser la forma constructiva estándar para motores de cuatro cilindros. La carga parcial se regula en la primera etapa, la válvula de estrangulamiento de la segunda etapa se abre solamente para alcanzar la potencia plena.

Para motores de seis cilindros son apropiados los carburadores dobles, que equivalen a dos carburadores con cubeta de flotador común. También se utilizan carburadores de cámara doble de registro con cuatro cámaras de mezcla y con una cubeta de flotador común.

Estructura y principio de trabajo

El conductor influye en la cantidad de aire aspirado, y con ello en la potencia del motor, actuando mediante el pedal acelerador en la válvula de estrangulamiento. Dependiente de la cantidad de aire, el carburador dosifica la cantidad correspon-

diente de combustible. El flotador regula junto con la válvula de aguja del flotador la cantidad de combustible que entra en el carburador y mantiene constante el nivel de combustible en la cubeta del flotador.

La medición de la cantidad de aire se realiza en el carburador con ayuda de un tubo Venturi (difusor). Por la reducción de la sección de este tubo se eleva la velocidad del aire y aparece la correspondiente depresión en dicho estrechamiento. La diferencia de presión que se produce así respecto a la cubeta del flotador, que todavía puede acentuarse más por medio de un pulverizador previo, se utiliza para extraer combustible de la cubeta del flotador. El ajuste de la cantidad de combustible a la cantidad de aire se consigue mediante los sistemas de dosificación.

Sistemas de dosificación de combustible

Sistema principal

La tobera principal dosifica el combustible. Como ayuda para el transporte se agrega aire al combustible a través de orificios laterales en el tubo emulsionador.

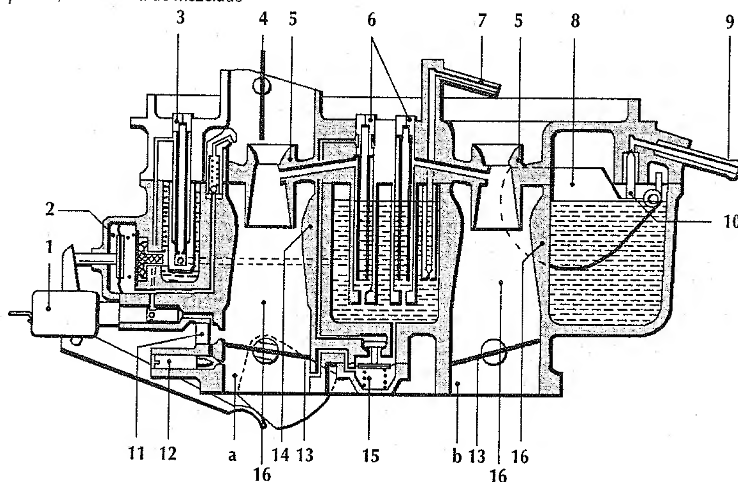
Sistema para marcha en vacío y transición

En la marcha en vacío el sistema principal no responde todavía al caudal de aire. Por tal motivo hay un sistema propio para la marcha en vacío que desemboca a través del canal de marcha en vacío justo detrás de la válvula de estrangulamiento en la zona de máxima depresión. Las toberas de marcha en vacío y de aire de marcha en vacío dosifican el combustible y el aire de corrección.

Para la transición al sistema principal la válvula de estrangulamiento regula una serie de orificios (o una ranura), los cuales son alimentados desde el sistema de marcha en vacío.

Otros sistemas

Aparte de los sistemas básicos arriba mencionados existen otros sistemas. Sirven para una adaptación mejor al campo característico del motor caliente (mando a carga parcial, enriquecimiento a plena carga), para la compensación del efecto acumulador del tubo de aspiración al acelerar (bomba de aceleración) y la adaptación al requerimiento del motor en el arranque y la marcha en caliente. Otros ejemplos son la adición de aire de corrección influenciada por válvulas magnéticas de la regulación Lambda así como también el corte de propulsión.



Esquema de un carburador de registro
1 Válvula de desconexión de marcha en vacío, 2 Bomba de aceleración, 3 Sistema de marcha en vacío, 4 Mariposa del arranque, 5 Pulverizador previo, 6 Sistemas principales con tubos emulsionadores, 7 Enriquecimiento para plena carga, 8 Flotador, 9 Entrada de combustible, 10 Válvula de aguja del flotador, 11 Tapón de desviación, 12 Tornillo de regulación (mezcla de marcha en vacío), 13 Mariposas de estrangulamiento, 14 Difusor, 15 Válvula de mando a carga parcial, 16 Cámara de mezclado

Sistema de carburador regulado electrónicamente (ECOTRONIC)

Carburador básico

Se limita a mariposa principal, sistema de flotador, sistema de ralentí y de transición, sistema de alimentación principal y mariposa secundaria. Además está prevista una regulación del aire para marcha al ralentí mediante un inyector de aguja accionado por la mariposa secundaria.

Componentes de montaje y elementos de ajuste

El elemento que pone en movimiento a la mariposa principal es electroneumático y regula el grado de llenado del motor. El tope de este regulador acciona la mariposa a través de una palanca que se encuentra en el eje de la mariposa.

El regulador de la mariposa hace de elemento de ajuste para regular la proporción de la mezcla en las diferentes condiciones de trabajo del motor. Cuando se cierra la mariposa secundaria se obtiene un enriquecimiento por elevación de la diferencia de presión en el sistema principal y la interacción del inyector de aire para ralentí en el sistema de régimen al ralentí. El regulador de la mariposa secundaria trabaja como par motor; el par antagónico está producido por la fuerza del aire que incide en la mariposa, montada con sus apoyos excéntricos y con un muelle de rotación inversa.

Sensores

El sensor de la mariposa sirve para indicar la posición angular de la misma y su movimiento. Un sensor de temperatura capta la temperatura de funcionamiento del motor y a veces, un segundo sensor, la temperatura en el tubo de aspiración.

El conmutador de marcha en vacío sirve para el reconocimiento del empuje. En los aparatos electrónicos de mando se puede ahorrar programándolo en el software.

Unidad de control electrónica

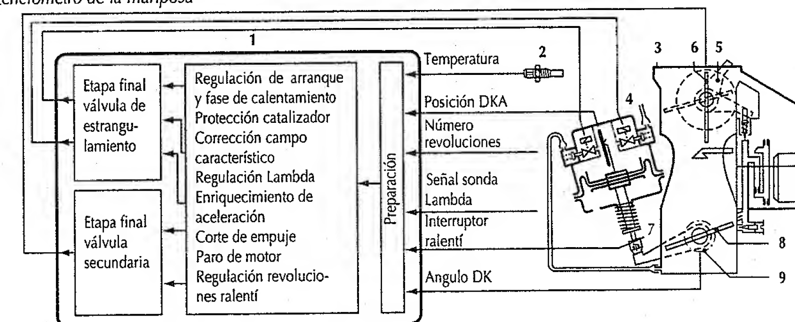
En la sección de entrada de la unidad se digitalizan las señales analógicas de los sensores; en la de proceso se elaboran las magnitudes de entrada y se calculan los valores correspondientes de salida mediante los datos almacenados en campos característicos. Los valores de salida ajustan a los reguladores de la mariposa secundaria y la mariposa principal así como también otros valores de salida.

Funciones básicas

Las funciones básicas del sistema se dan por medio del carburador básico. Aquí se realiza la sincronización en el diagrama característico del motor con ayuda de los sistemas de régimen al ralentí, de transición y de plena carga. Este sincronismo estacionario se puede ajustar "pobre" a propósito, ya que son posibles las correcciones en el sentido de "enriquecimiento" con ayuda del regulador de la mariposa secundaria.

Funciones electrónicas

Las funciones con regulación/mando electrónicos son superpuestas a las funciones básicas, las cuales son tratadas en la unidad de mando electrónica. Algunas de ellas están indicadas en la figura. Pueden



Esquema de un carburador con regulación electrónica (ECOTRONIC)
1 Dispositivo de mando, 2 Sensor de temperatura, 3 Carburador, 4 Accionador mariposa (DKA), 5 Accionador de la mariposa secundaria, 6 Mariposa secundaria, 7 Interruptor de ralentí, 8 Válvula de estrangulamiento (mariposa), 9 Potenciómetro de la mariposa

agregarse p.ej. el mando del encendido, misiones de conmutaciones, indicaciones de consumos y funciones de diagnóstico.

Sistemas centrales de inyección

La inyección central ha evolucionado hacia una amplia regulación del motor.

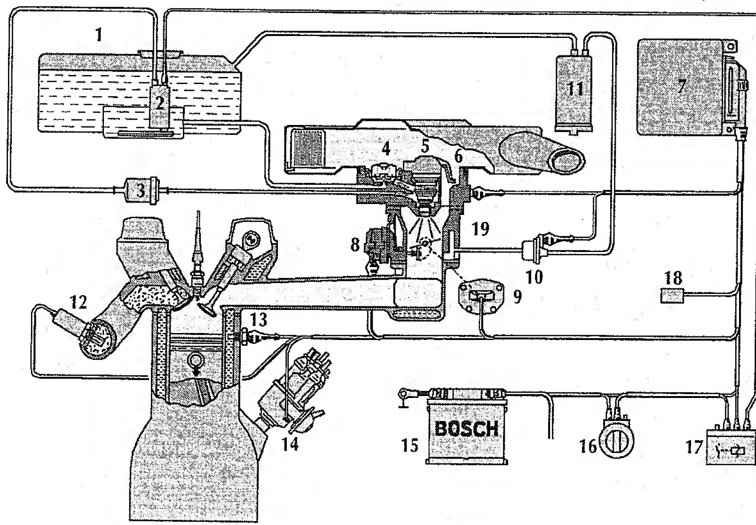
Los diferentes sistemas centrales de inyección se diferencian en la concepción del dispositivo de inyección. Todos los sistemas llevan la válvula de inyección por encima de la válvula de estrangulamiento y a menudo trabajan, en comparación con los sistemas individuales de inyección, con presión baja (0,7 a 1 bar por encima de la presión atmosférica). Esto permite la utilización de una bomba eléctrica de combustible económica que trabaja según el principio del eyector y que la mayoría de las veces está incorporada en el depósito de combustible. Un sistema así de baja presión requiere indispensablemente una válvula de inyección de combustible que evite la formación de burbujas de vapor. La denominación "inyección central" comprende los conceptos "Single-Point Injection" (SPI), "Central Fuel Injection" (CFI), "Throttle-Body Injection" (TBI) o "Mono-Jetronic" (Bosch).

Mono-Jetronic

La Mono-Jetronic es un sistema central de inyección de baja presión para motores de cuatro cilindros regulado electrónicamente con una válvula electromagnética de inyección dispuesta de forma central. El núcleo del sistema es el dispositivo de inyección que con la válvula de estrangulamiento dosifica el aire de aspiración e inyecta el combustible de forma intermitente encima de la válvula de estrangulamiento. El combustible se reparte a los diferentes cilindros a través del tubo de aspiración. Diferentes sensores captan todas las magnitudes de funcionamiento del motor para el cálculo de las señales de regulación para la válvula de inyección y otros reguladores en el sistema.

Dispositivo de inyección

Para conseguir una formación homogénea de la mezcla y su reparto uniforme, se ha dispuesto la válvula de inyección en la corriente de aire de aspiración encima de la válvula de estrangulamiento. El chorro de proyección se conforma de tal manera, que evitando al máximo humectar las paredes llega a la ranura falciforme entre el armazón y la válvula de estrangulamiento y se consigue la preparación óptima gracias a la gran diferencia de presión. La fina pulverización del combustible de la válvula de inyección que trabaja con la presión del sistema de 1 bar (por encima de la presión ambiental), permite la distribución constante buena de la mezcla. La válvula de inyección es accionada al ritmo de los impulsos de encendido.



Esquema de una instalación Mono-Jetronic
1 *Depósito de combustible,* **2** *Bomba eléctrica de combustible,* **3** *Filtro de combustible,* **4** *Regulador de presión,* **5** *Válvula de inyección,* **6** *Sensor de la temperatura del aire,* **7** *Dispositivo de mando,* **8** *Accionador de la válvula de estrangulamiento,* **9** *Potenciómetro de la válvula de estrangulamiento,* **10** *Válvula de regeneración,* **11** *Recipiente de carbono activo,* **12** *Sonda Lambda,* **13** *Sensor de la temperatura del motor,* **14** *Distribuidor del encendido,* **15** *Batería,* **16** *Conmutador de encendido/arranque,* **17** *Relés,* **18** *Conexión de diagnóstico,* **19** *Dispositivo de inyección*

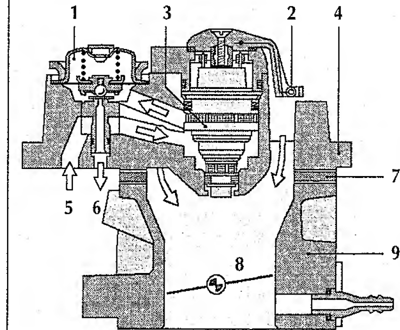
Mando del sistema

Las magnitudes principales de regulación de un sistema de inyección pueden ser, juntamente con el número de revoluciones n, la cantidad o masa de aire, la presión absoluta del tubo de aspiración o la posición α de la válvula de estrangulamiento. El sistema (α/n) empleado en la Mono-Jetronic cumple también límites estrictos en los valores de los gases de escape mediante la regulación Lambda y el catalizador de tres vías. Una adaptación automática que toma como referencia la señal de la sonda Lambda, compensa las tolerancias de los componentes y las modificaciones del motor, obteniéndose una alta exactitud durante la vida útil del sistema.

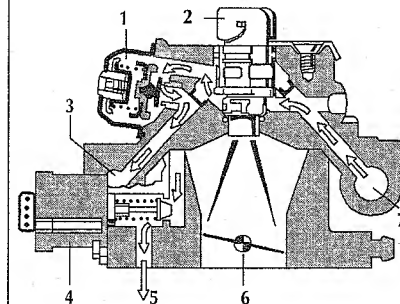
Funciones de adaptación

Mediante la prolongación del tiempo de inyección se inyecta combustible adicional para el arranque en frío, los arranques posteriores y la fase de calentamiento. Para mantener constante el número de revoluciones al ralentí, el accionador de la válvula de estrangulamiento regula dicha válvula y aporta al motor una cantidad adicional de aire. El potenciómetro capta la posición modificada de la válvula de estrangulamiento e incrementa la cantidad de combustible mediante el dispositivo de mando. De la misma forma el sistema regula la relación de enriquecimiento durante aceleraciones y marcha a plena carga. El corte de suministro lleva al ahorro de combustible y a emisiones reducidas en el funcionamiento de empuje. La regulación adaptiva al ralentí reduce y estabiliza el número de revoluciones. Para ello el dispositivo de mando, en función del número de revoluciones y la temperatura del motor, envía al motor de regulación una señal para la regulación de la válvula de estrangulamiento.

Dispositivo de inyección Mono-Jetronic
1 *Regulador de presión,* **2** *Sensor de la temperatura del aire,* **3** *Válvula de inyección,* **4** *Parte superior (parte hidráulica),* **5** *Entrada de combustible,* **6** *Retorno de combustible,* **7** *Placa intermedia de aislamiento térmico,* **8** *Válvula de estrangulamiento,* **9** *Parte inferior*



Dispositivo de inyección Multec (Opel)
1 *Regulador de presión,* **2** *Válvula de inyección,* **3** *Retorno de combustible,* **4** *Motor de paso a paso de llenado en marcha en vacío,* **5** *Hacia el tubo de aspiración,* **6** *Válvula de estrangulamiento,* **7** *Entrada de combustible*



Sistemas individuales de inyección

K-Jetronic

Principio de trabajo

- Inyección continua
- Medición directa del caudal de aire.

El K-Jetronic, al contrario que la bomba de inyección accionada por el motor de combustión, es un sistema sin accionamiento, en el cual se dosifica el combustible continuamente según el caudal de aire aspirado por el motor.

A causa de la medición directa del caudal de aire, el K-Jetronic controla también las variaciones en el motor y permite la utilización de los dispositivos para la purificación de los gases de escape, para los cuales es condición previa imprescindible la medición exacta del caudal de aire aspirado.

Funcionamiento

El aire aspirado fluye a través del filtro y el medidor del caudal de aire, pasa por la mariposa principal y va al colector de admisión, desde donde se distribuye a los distintos cilindros.

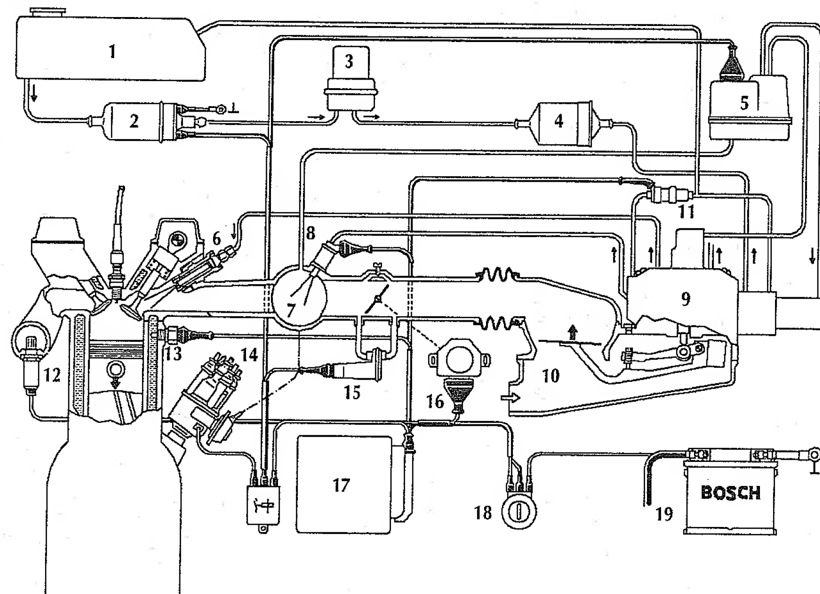
El combustible es aspirado del depósito por una electrobomba (bomba celular de rodillos) y enviado a través del acumulador y el filtro al distribuidor-dosificador. Un regulador de presión del sistema en el distribuidor-dosificador mantiene constante la presión de combustible. El sobrante de combustible que no necesita el motor circula de vuelta al depósito.

Regulador de mezcla

El regulador de mezcla está formado por el medidor del caudal de aire y el distribuidor-dosificador de combustible.

Esquema de una instalación K-Jetronic

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Acumulador de combustible, 4 Filtro de combustible, 5 Regulador de la fase de calentamiento, 6 Válvula de inyección, 7 Colector de admisión, 8 Válvula de arranque en frío, 9 Distribuidor-dosificador de combustible, 10 Medidor de caudal de aire, 11 Válvula de impulsos, 12 Sonda Lambda, 13 Interruptor térmico temporizado, 14 Distribuidor de encendido, 15 Válvula de aire adicional, 16 Interruptor de mariposa, 17 Uniad de control, 18 Conmutador de encendido y arranque, 19 Batería



Medidor del caudal de aire

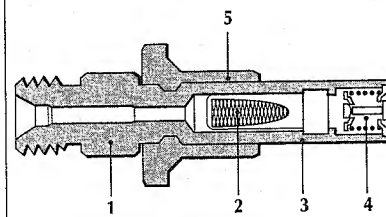
Se compone de un difusor de aire (embudo) y de un plato-sonda en suspensión sujeto a una palanca. El peso conjunto de la palanca y el plato-sonda se equilibra con un contrapeso. El plato-sonda se inclina en el difusor cónico por la fuerza que le ejerce el aire circulante y se mantiene en equilibrio por la reacción hidráulica del émbolo regulador del distribuidor-dosificador de combustible. La posición del plato-sonda es una medida del caudal de aire aspirado que se transmite por medio de una palanca al émbolo regulador del distribuidor-dosificador de combustible.

Distribuidor-dosificador de combustible

La dosificación de combustible a los distintos cilindros se realiza por medio de la regulación de la sección de las ranuras de dosificación del distribuidor. El soporte de ranuras de dosificación tiene tantas ranuras de dosificación (aberturas rectangulares) como cilindros el motor. A cada posición del émbolo de regulación se descubre una ranura de dosificación determinada. Cada una de éstas está en comunicación con una válvula de presión diferencial que mantiene constante la caída de presión en todas las ranuras de dosificación para los distintos caudales que pasan.

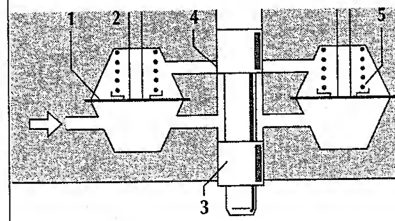
Válvula de inyección

1 Hexágono, 2 Tamiz fino, 3 Cuerpo de la válvula, 4 Aguja de la válvula, 5 Pieza de goma conformada



Distribuidor-dosificador del combustible en el regulador de la mezcla

1 Membrana, 2 A la válvula de inyección, 3 Émbolo de mando, 4 Ranura, 5 Válvula de presión diferencial



Válvula de inyección

La válvula de inyección se abre automáticamente a una sobrepresión de aproximadamente 3,6 bar, y no tiene ninguna función dosificadora. Se abre y cierra con una frecuencia aprox. de 1 500 Hz (chirría) y efectúa con esto una buena pulverización del combustible.

Para su fijación se utiliza una pieza moldeada de goma. Se ajusta a presión; no se rosca. El hexágono sirve para aguantarla cuando se le atornilla la tubería de combustible.

Regulador de la fase de calentamiento

Enriquece la mezcla en la fase de calentamiento durante la cual reduce la contrapresión en el émbolo de mando regulado por un bimetal calentado eléctricamente. La disminución de la presión de regulación, a igualdad de caudal de aire, conduce a un mayor desplazamiento del plato-sonda en suspensión (correspondiente a la mayor sección de paso de combustible) y con ello se consigue el enriquecimiento durante la fase de calentamiento.

Si es necesario se puede ampliar el regulador de la fase de calentamiento con las siguientes funciones:

- enriquecimiento a plena carga,
- enriquecimiento a aceleración,
- corrección por altura.

Válvula de aire adicional

Una corredera accionada por un resorte bimetálico o elemento de dilatación conduce una cantidad adicional de aire al motor durante la fase de calentamiento (eludiendo la mariposa). Esta cantidad adicional de aire compensa los valores mayores de rozamiento del motor frío a un mismo número de revoluciones de ralentí o bien permite números de revoluciones de ralentí mayores para una fase más rápida de calentamiento del motor y de los gases de escape.

Válvula eléctrica de arranque, Interruptor térmico temporizado

El interruptor térmico temporizado regula la válvula eléctrica de arranque que de-

pende de la temperatura del motor y del tiempo, y posibilita la inyección de una cantidad adicional de combustible en el colector de admisión (enriquecimiento para el arranque en frío), para el arranque a bajas temperaturas.

Regulación Lambda

Para el cumplimiento de los valores límite extremadamente bajos en los gases de escape, no resulta suficientemente precisa la simple regulación de la proporción aire/combustible.

La regulación Lambda necesaria para el servicio de un catalizador de tres vías, obliga en el K-Jetronic a la introducción de una unidad de control electrónica, cuya principal magnitud de entrada es la propia señal de la sonda Lambda.

Por medio de una válvula electromagnética sincronizada, se modifica la presión diferencial en las ranuras de regulación y con ello se varía la relación aire-combustible. En una futura mayor restricción de los límites de gases de escape ya no podrá utilizarse este principio.

KE-Jetronic

El KE-Jetronic representa un avance del K-Jetronic. Para elevar la flexibilidad y darle más funciones se amplía el K-Jetronic por medio de una unidad de control electrónica. Otros componentes son:

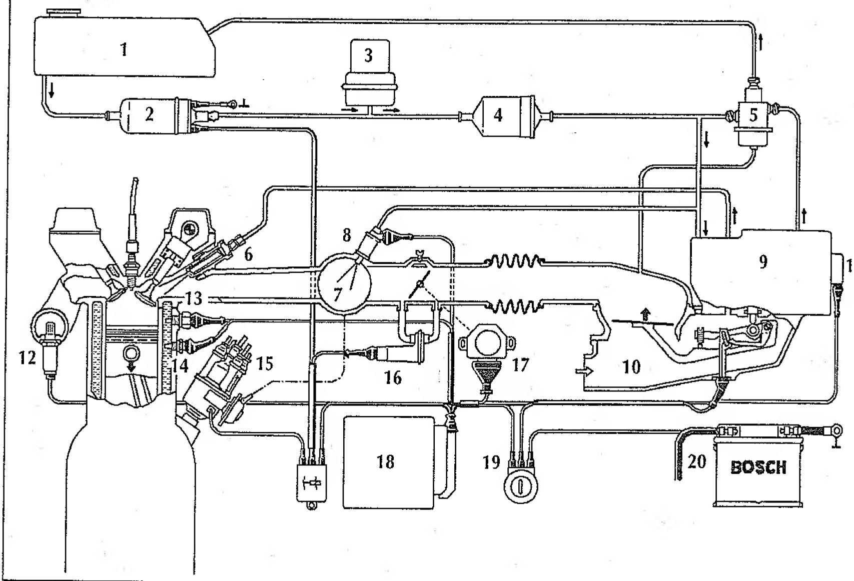
- El potenciómetro para el caudal de aire aspirado por el motor.
- El accionador de presión que actúa sobre la composición de la mezcla.
- El regulador de presión que mantiene constante la presión del sistema y que al parar el motor realiza una función de cierre característica

Funcionamiento

La presión en el sistema se genera por medio de una electrobomba de combustible. El combustible pasa por el distribuidor del

Esquema de una instalación KE-Jetronic

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Acumulador de combustible, 4 Filtro de combustible, 5 Regulador de presión de sistema, 6 Válvula de inyección, 7 Colector de admisión, 8 Válvula de arranque en frío, 9 Distribuidor-dosificador de combustible, 10 Medidor de caudal de aire, 11 Actuador de presión electrohidráulico, 12 Sonda Lambda, 13 Interruptor térmico temporizado, 14 Sonda térmica del motor, 15 Distribuidor del encendido, 16 Válvula de aire adicional, 17 Interruptor de mariposa, 18 Uniad de control, 19 Conmutador de encendido y arranque, 20 Batería



caudal de combustible; un regulador de presión de membrana cuida de la presión constante en el sistema. A diferencia del K-Jetronic, en el que la presión de regulación viene regida por el regulador de marcha en caliente, en el KE-Jetronic es la contrapresión hidráulica sobre el émbolo de mando la que iguala la presión del sistema. Las correcciones de la mezcla se efectúan variación simultánea de la diferencia de presión en todas las cámaras de distribución de caudal.

La presión del sistema actúa delante de las ranuras de dosificación en el distribuidor-dosificador de combustible y como contrapresión sobre el émbolo de mando que, igual que en el K-Jetronic, se mueve por medio de un medidor de caudal de aire del tipo de plato-sonda. Una estrangulación de amortiguamiento impide las oscilaciones que puedan activarse por las fuerzas del plato-sonda. Partiendo de la conexión con el émbolo de mando, el combustible pasa por el accionador de presión, por la cámara interior de la válvula de presión diferencial, por un estrangulamiento fijo y va al regulador de presión, y regresa al depósito de combustible. El elemento accionador constituye junto con el estrangulamiento fijo un distribuidor de presión, cuya presión se puede variarelectromagnéticamente. Esta presión existe en la cámara inferior de la válvula de presión diferencial.

Según la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por el accionador se produce un determinado gradiente de presión entre sus racores de conexión, que lleva a una variación de la presión diferencial en las ranuras de dosificación y, con ello, a la variación de la cantidad de combustible inyectado.

Por inversión de la corriente se puede conseguir el cierre total de la entrada de combustible, lo que puede utilizarse, por ejemplo, para el corte de combustible en desaceleración (con motor frenado) o para limitar el número de revoluciones.

Accionador de presión electrohidráulico

El accionador electrohidráulico va montado junto al distribuidor-dosificador de combustible, representando éste un regulador de presión diferencial que trabaja según el sistema de placa de rebote e inyector y cuya caída de presión se controla mediante una corriente eléctrica de la cual depende el factor de enriquecimiento de la mezcla.

Unidad de control electrónica

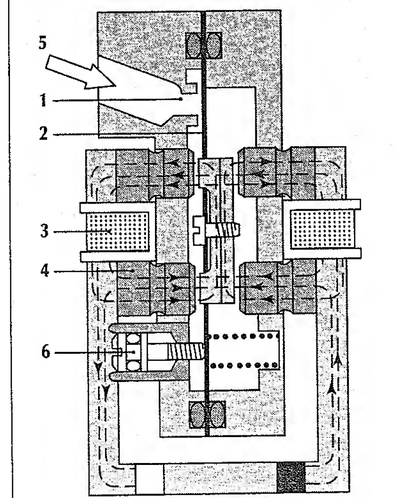
En la unidad de control electrónica se analizan y valoran las señales para el encendido (régimen de revoluciones del motor), sonda térmica (temperatura del motor), potenciómetro (caudal de aire aspirado), interruptor de la mariposa (marcha al ralentí, con el motor reteniendo, plena carga), conmutador de encendido y arranque, sonda Lambda, sensor de la cápsula barométrica (presión del aire) y otros sensores. Las funciones que regula son:

- Enriquecimiento en el arranque y posteriores arranques
- Enriquecimiento durante la fase de calentamiento
- Enriquecimiento de aceleración
- Enriquecimiento para plena carga
- Corte en desaceleración (marcha con el motor frenado)
- Limitación del número de revoluciones
- Regulación del régimen al ralentí
- Corrección por altura
- Regulación Lambda

Por medio de un conmutador codificado se puede pasar de servicio con regulación Lambda (con catalizador) a servicio

Posicionador de presión electrohidráulico

1 Boquilla, 2 Placa de la válvula, 3 Bobina, 4 Polo magnético, 5 Entrada de combustible, 6 Tornillo de ajuste



sin regulación Lambda. Funciona tanto con gasolina plomo como sin plomo.

Regulación Lambda

La señal de la sonda Lambda se procesa en la unidad de control electrónica del KE-Jetronic. La operación de regulación necesaria se produce por el accionador de presión.

L-Jetronic

Principio de trabajo

- Medición del caudal de aire
- Magnitudes de regulación principales: Caudal de aire y número de revoluciones.
- Inyección intermitente.

El L-Jetronic reúne las ventajas de la medición directa del caudal de aire con las posibilidades propias de la electrónica. Al igual que en el K-Jetronic se tienen en cuenta todas las variaciones en el motor (desgaste, incrustaciones en la cámara de combustión, variaciones de la graduación de las válvulas). Con ello se asegura de forma constante la buena calidad de los gases de escape.

Funcionamiento

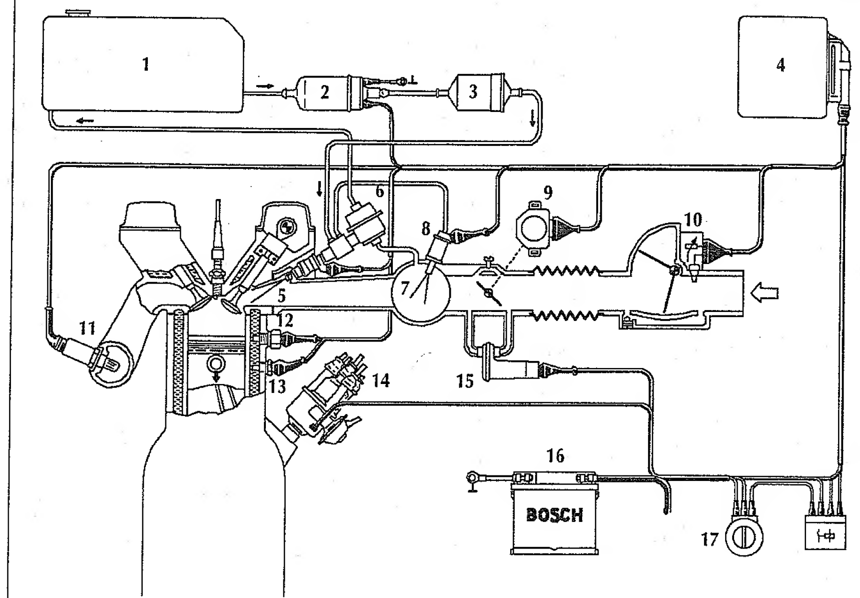
El combustible se inyecta al motor a través de las válvulas de admisión mediante válvulas de inyección accionadas electromagnéticamente. A cada cilindro se le asigna una válvula magnética, que inyecta una vez por cada vuelta del cigüeñal. Para reducir el gasto del circuito todas las válvulas se conectan en paralelo. La diferencia de presión entre el combustible y la admisión se mantiene constante a 2,5 ó 3 bar, de modo que la cantidad de combustible inyectada sólo depende del tiempo de abertura de la válvula. Para ello la unidad de control manda impulsos cuya duración depende del caudal de aire aspirado, del número de revoluciones del motor y de otras magnitudes captadas por sensores y procesadas en la unidad de control.

Suministro de combustible

Una electrobomba celular de rodillos impulsa el combustible y produce la presión de inyección. El combustible es aspirado del depósito y enviado a presión a través de un filtro de papel a una tubería de presión

Esquema de una instalación L-Jetronic

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Filtro de combustible, 4 Unidad de control, 5 Válvula de inyección, 6 Regulador de presión, 7 Colector de admisión, 8 Válvula de arranque en frío, 9 Interruptor de mariposa, 10 Medidor de caudal de aire, 11 Sonda Lambda, 12 Termointerruptor temporizado, 13 Sonda térmica del motor, 14 Distribuidor del encendido, 15 Válvula de aire adicional, 16 Batería, 17 Conmutador de encendido y arranque



en cuyo extremo se encuentra un regulador de presión (membrana cargada por un muelle). El regulador de presión mantiene constante la diferencia de presión en la ranura de dosificación con independencia de la cantidad de combustible inyectado.

Sistema estándar:

El combustible fluye por la conducción a presión hacia un distribuidor colocado en el motor junto a las válvulas de inyección. La cantidad de combustible no precisada por el motor de combustión vuelve hacia el depósito de combustible a través del distribuidor de combustible y una conducción colocada en el regulador de presión. Este combustible se calienta en el recorrido del motor hasta el depósito. La temperatura en el depósito aumenta.

Dependiendo de la temperatura en el depósito se forman vapores de combustible. De forma no contaminante se almacenan en un filtro de carbono activo intercalado y se conducen al aire aspirado por el tubo de aspiración del motor de combustión.

Sistema exento de retorno:

El sistema sin retorno reduce el calentamiento del combustible en el depósito. Así se puede cumplir con mayor facilidad con las prescripciones legales referentes a la evaporación de combustible en un vehículo. El regulador de presión se encuentra en el depósito de combustible o en sus proximidades. Así se elimina la conducción retorno desde el motor hacia el depósito. Al distribuidor de combustible se le aporta solamente la cantidad de combustible que inyectan las válvulas de inyección. La cantidad sobrante transportada por la electrobomba es conducida directamente hacia el depósito, sin tener que tomar la desviación a través del compartimiento del motor. A condiciones marginales iguales puede reducirse la temperatura del combustible en el depósito hasta en 10 K, según sean las especificaciones del vehículo, y con ello reducir bien en un tercio la cantidad de combustible que se evapora.

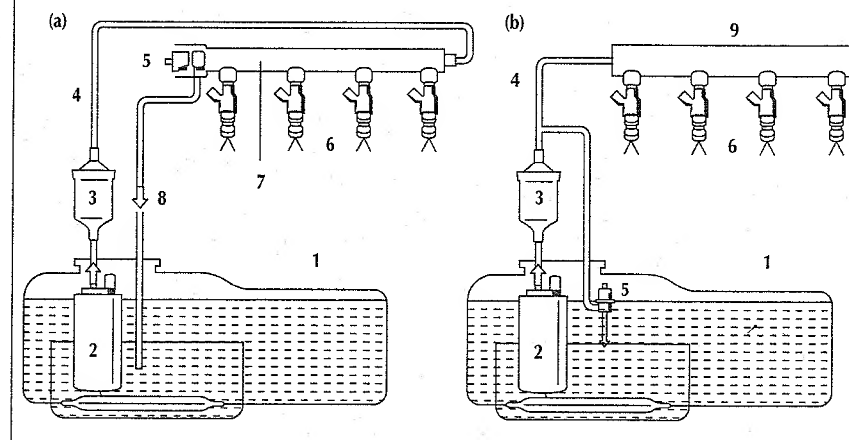
Medidor de caudal de aire

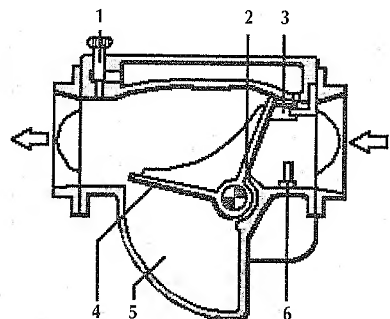
La corriente de aire aspirado contra la fuerza antagónica de un muelle, inclina una aleta de retención suspendida hasta formar cierto ángulo que se convierte por medio de un potenciómetro en magnitud de tensión eléctrica. Esta magnitud de tensión determina el tiempo de corte de un termointerruptor temporizado de la uni-

Suministro de combustible

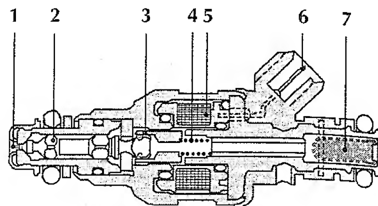
(a) Sistema estándar, (b) Sistema exento de retorno

1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Filtro de combustible, 4 Conducción de presión, 5 Regulador de la presión, 6 Válvulas de inyección, 7 Distribuidor de combustible (circulación), 8 Conducción de retorno, 9 Distribuidor de combustible (sin retorno)





Medidor del caudal de aire
1 Tornillo de ajuste de mezcla para el régimen de ralentí, 2 Aleta-sonda, 3 Tope, 4 Mariposa de compensación, 5 Cámara de amortiguamiento, 6 Sonda de temperatura del aire



Válvula de inyección
1 Tetón de inyección, 2 Aguja de válvula, 3 Inducido magnético, 4 Muelle de cierre, 5 Bobinado del electroimán, 6 Conexión eléctrica, 7 Filtro de combustible

dad de control electrónica. El medidor de caudal de aire lleva incorporada una sonda de temperatura del aire aspirado pare tener en cuenta la variación de la densidad del aire por los cambios de temperatura.

Válvulas de inyección
Las válvulas de inyección sirven para dosificar y pulverizar el combustible. Al excitar el electroimán, la aguja del inyector se levanta sólo aproximadamente 0,05 mm de su asiento.

Interruptor de mariposa
Da la señal de conmutación a la unidad de control electrónica cuando la mariposa está cerrada (marcha al ralentí) o completamente abierta (plena carga).

Sonda térmica del motor
La sonda térmica del motor es una resistencia dependiente de le temperatura, que regula el enriquecimiento durante la fase de calentamiento.

Distribuidor de corredera del aire adicional, válvula eléctrica de arranque, termointerruptor temporizado
Su función y ejecución son parecidas a las del K-Jetronic.

Unidad de control electrónica
Convierte las diferentes magnitudes influyentes detectadas en el motor en impulsos eléctricos, cuyo punto de aplicación coincide con el del encendido y cuya duración depende en primer lugar de la cantidad de aire aspirado y del número de revoluciones. Puesto que todas las válvulas de inyección actúan al mismo tiempo, sólo es necesaria una etapa final de potencia. Las sondas de temperatura provocan un tiempo de inyección creciente al descender la temperatura del motor y del aire. Las señales de conexión del interruptor de mariposa permiten la modificación de la mezcla para ralentí o plena carga.

Regulación Lambda
La serial de la sonda Lambda se compara en la unidad de control electrónica con un valor nominal y con ello se gobierna un regulador de dos puntos. La actuación sobre la regulación se realiza, como en todas las funciones correctoras, por la duración en posición abierta de las válvulas de inyección.

L3-Jetronic
La L3-Jetronic posee un mayor campo de funciones en comparación con la L-Jetronic de tecnología analógica. El regulador que trabaja con tecnología digital ajusta la relación de aire/combustible – a diferencia del L-Jetronic – mediante un campo característico de carga/número de revoluciones. El dispositivo de mando está colocado directamente junto al medidor de caudal de aire, de forma que ocupa poco espacio y forma junto con él una unidad de medición y regulación.

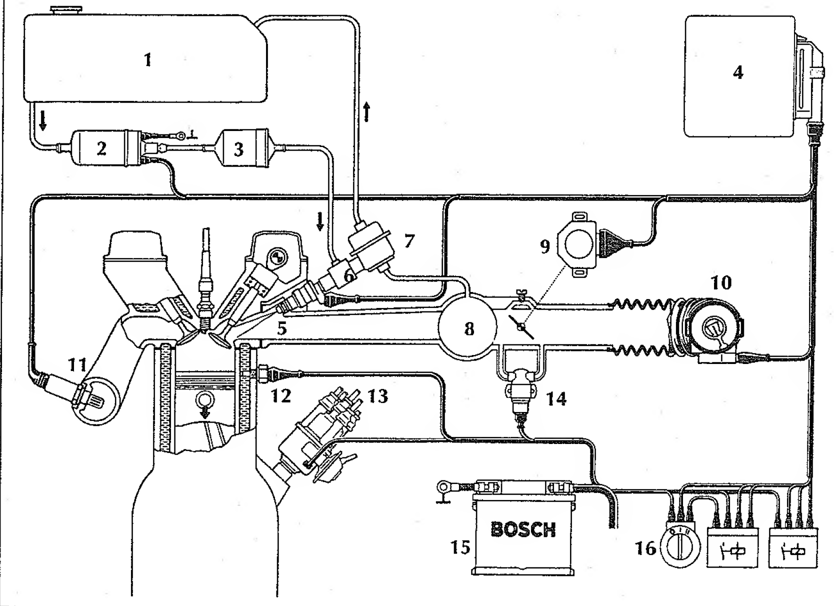
LH-Jetronic
El LH-Jetronic está muy relacionado con el L-Jetronic. La diferencia estriba en que se tiene en cuenta el caudal de aire aspirado por el motor, que en este caso se realiza por medición de la masa de aire aspirada por el motor por un medidor de hilo caliente. El resultado de la medición es por ello independiente de la densidad del aire que a su vez es función de la temperatura y de la presión.

Los restantes aparatos y el funcionamiento del LH-Jetronic son en su mayor parte iguales que en el L-Jetronic.

Procesamiento de datos de funcionamiento en la unidad de control
El LH-Jetronic tiene una unidad de control digital y optimiza la relación aire/combustible - a diferencia del L-Jetronic - en todo un diagrama característico de carga/número de revoluciones, con lo que se logra un menor consumo y menor emisión de gases de escape. La unidad de control procesa las señales de los sensores y calcula con ellas el tiempo de inyección como medida de la cantidad de combustible que hay que inyectar. La unidad de control tiene un microprocesador, una memoria de programa y de datos y un convertidor analógico-digital. Para el funcionamiento del microordenador hay una fuente apropiada de tensión y una sincronización de base estable, en la que tienen lugar los procesos de cálculo. Un oscilador de cuarzo engendra la frecuencia de reloj.

Medidor de caudal de masa de aire por hilo caliente
En el curso de la corriente de aire aspirado hay un alambre caliente que forma parte de un circuito de puente eléctrico y que por la corriente que lo atraviesa se mantiene a una temperatura constante superior a la del aire aspirado. Por este principio, la corriente de calentamiento necesaria es una medida de la masa de aire aspirada por el motor. La corriente de calentamiento se transforma en una resistencia, en una señal de tensión, que en la unidad de con-

Esquema de una instalación LH-Jetronic
1 Depósito de combustible, 2 Electrobomba de combustible, 3 Filtro de combustible, 4 Unidad de control, 5 Válvula de inyección, 6 Distribuidor de compustible, 7 Regulador de presión, 8 Colector de admisión, 9 Interruptor de mariposa, 10 Medidor de caudal de aire por hilo caliente, 11 Sonda Lambda, 12 Sonda térmica del motor, 13 Distribuidor del encendido, 14 Actuador de ralentí, 15 Batería, 16 Conmutador de encendido y arranque

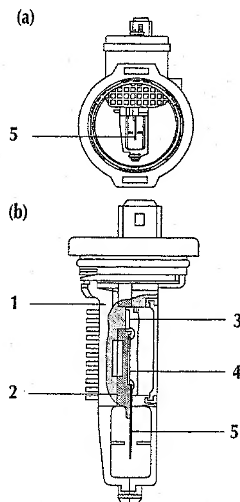


trol se procesa como magnitud principal de entrada junto con el número de revoluciones. Una sonda térmica incorporada en el medidor de masa de aire por hilo caliente cuida de que la señal de salida no dependa de la temperatura del aire aspirado. Con un potenciómetro se ajusta la proporción aire/combustible al ralentí. Puesto que si se ensucia la superficie del alambre caliente puede variar la señal de salida, cada vez que se para el motor se eleva eléctricamente durante un segundo la temperatura del alambre para eliminarle la posible suciedad. El medidor de masa de aire por hilo caliente no tiene piezas móviles y apenas ofrece resistencia a la circulación del aire en el canal de admisión.

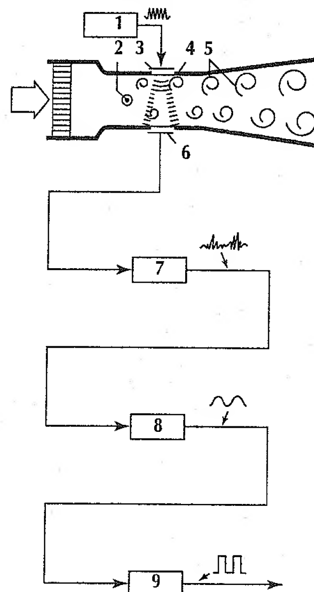
Medidor de caudal de masa de aire por película caliente
Trabaja según el mismo principio que el medidor por alambre caliente. Para simplificar la estructura se han reunido las partes importantes de las conexiones eléctricas de puente en un substrato cerámico como delgadas resistencias de película. Además, este medidor no tiene que quemarse para eliminarle las impurezas. El problema del ensuciamiento se ha resuelto colocando las zonas criticas del elemento sensor para la transmisión del calor corriente abajo, de forma que no son influenciadas por las inevitables aglutinaciones de impurezas en los cantos delanteros del elemento sensor.

Medidor de caudal Kármán-Vortex
El medidor de volumen de aire según el principio Kármán-Vortex es otro sensor para la medición de la corriente de aire aspirado. En él con la corriente de aspiración se causan remolinos de aire en el cuerpo, cuya frecuencia es una medida del volumen del caudal. Esta frecuencia se mide por las ondas de ultrasonido transversales al caudal de aire de aspiración. La velocidad de propagación de estas ondas viene influida por los remolinos y se mide con un receptor de ultrasonidos y procesa debidamente en la unidad electrónica de mando.

Medidor de caudal de masa de aire por película caliente
(a) Armazón, (b) Sensor de película caliente (instalado en el centro del armazón)
1 Cuerpo de refrigeración, 2 Placa intermedia, 3 Componente de potencia, 4 Híbrido, 5 Elemento sensor (película metálica)



Medidor de caudal, de ciclón, Kámán
1 Oscilador, 2 Cuerpo arremolinador, 3 Emisor, 4 Ondas ultrasonoras, 5 Torbellinos, 6 Receptor, 7 Amplificador, 8 Filtro, 9 Formador de impulsos



Otras funciones de regulación del motor

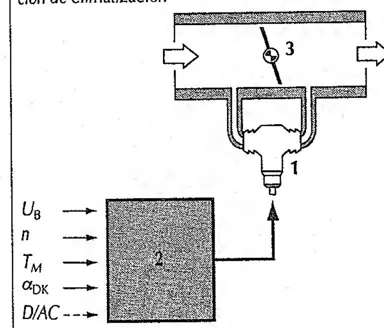
Las funciones principales de un sistema electrónico de regulación del motor son las anteriormente descritas de "encendido" y de "formación de la mezcla". Puesto que en dicho tipo de sistema caben las informaciones acerca de todas las magnitudes características importantes del motor, se pueden integrar en él otras funciones para la regulación del motor. De esta forma, de los sistemas independientes para el encendido o la inyección de gasolina, se llega a un sistema de tamaño creciente y cada vez más integrado para la regulación del motor.

A continuación se describen las más importantes de estas funciones adicionales integradas.

Regulación de las revoluciones al ralentí

En el motor Otto, el número de revoluciones al ralentí se determina por la cantidad de aire aportado, el coeficiente λ y el instante del encendido. Para la regulación de dicho número al ralentí se modifica la cantidad de aire (intervención en la admisión) y/o el punto de encendido (intervención en el encendido). La regulación de las revoluciones al ralentí a través de la admisión se ha evidenciado como procedimiento estándar muy ventajoso. Debido a que en especial en el tráfico en la ciudad el ralentí representa uno de los puntos de funcionamiento de mayor frecuencia, tiene especial sentido ajustar su número de revoluciones lo más bajo posible y con ello ahorrar consumo y gases de escape. Esto lo permite la regulación del número de revoluciones al ralentí, que durante toda la vida útil del vehículo mantiene constante el número de revoluciones al ralentí (ausencia de mantenimiento).

Regulación de admisión al ralentí
1 Actuador de ralentí, 2 Regulador electrónico de ralentí, 3 Válvula de estrangulamiento o mariposa
U_B Tensión de alimentación, n Número de revoluciones, T_M Temperatura del motor, α_{DK} Posición de la mariposa, señal D/AC de cambio automático/instalación de climatización



Funcionamiento
Las sondas determinan el número de revoluciones del motor, su temperatura y la posición de la mariposa. Además se pueden registrar estados de carga del cambio automático, de la instalación de climatización, de la dirección asistida y otras magnitudes de interferencia. En la unidad de control electrónica el régimen de revoluciones instantáneo del motor se compara con el número de revoluciones deseado al ralentí. El actuador de ralentí recibe una señal del regulador y lleva al motor mayor cantidad de aire si el número de revoluciones es demasiado bajo, o menos cantidad de aire si el número de revoluciones es demasiado alto; de este modo se regula el régimen deseado. Para ello se utilizan normalmente los conceptos de regulación rápida y regulación lenta. Una regulación rápida permite un régimen bajo al ralentí, y con ello un consumo de combustible favorable, ya que los cambios en la carga, por ejemplo por conexión de aparatos de consumo, pueden ser absorbidos. Por otra parte la regulación no debe ser tan rápida como para que se presenten problemas de estabilidad. Una regulación lenta sólo es adecuada para la compensación de desviaciones lentas y no permite por ello regímenes tan bajos al ralentí, motivo por el cual son un inconveniente respecto al poco consumo.

Junto a la regulación por admisión mencionada, por medio de un actuador en paralelo (bypass) con la mariposa también hay sistemas que actúan sobre la misma.

Actuador de ralentí
El actuador de ralentí va montado en una tubería flexible en derivación (bypass) con la mariposa. La corredera giratoria del eje del inducido abre el canal del bypass del aire hasta que regula el número de revoluciones necesario al ralentí, independiente-

mente de la carga del motor. Los dos bobinados del actuador giratorio reciben tensión alternativamente y producen en el inducido giratorio fuerzas antagónicas. La corredera giratoria se coloca en un ángulo de abertura determinado, que corresponde a la proporción de control de la tensión aplicada. Variando la proporción de control se puede variar la sección de abertura del bypass. En los sistemas se utilizan cada vez más nuevos actuadores con un solo bobinado que trabajan contra un muelle. Por otra parte, el inducido puede ser con movimiento giratorio o longitudinal.

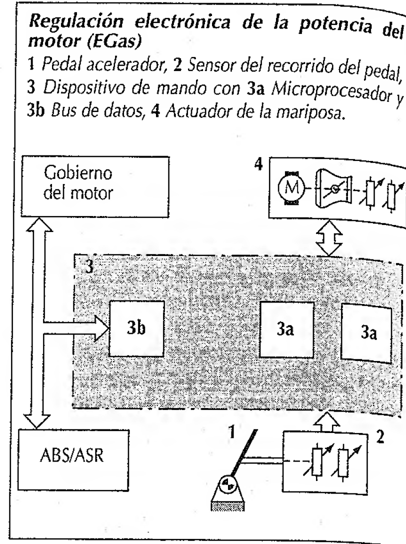
Regulación electrónica de la potencia del motor (EGas)

En contraposición a la hasta ahora acostumbrada regulación de la mariposa mediante tracción por cable o varillas, en el EGas un dispositivo electrónico de mando regula la mariposa con un motor eléctrico. Así, el dispositivo está en condiciones de regular la mariposa en función de diferentes parámetros como por ejemplo para efectuar una reducción momentánea del par motor para la regulación antideslizamiento de la propulsión (ASR).

Un sensor del recorrido del pedal registra la posición del acelerador y la envía al dispositivo electrónico de mando. De ella el dispositivo de mando calcula la señal para el regulador de la posición de la mariposa y toma en consideración también a las señales de entrada de otros sistemas (p.ej. del ASR o de la Motronic). Para ajustar de forma precisa el ángulo de la mariposa, un circuito de regulación de la posición regula el actuador. Para ello el dispositivo de mando recibe la señal de un potenciómetro colocado en el actuador.

La constante verificación de todos los componentes por parte del dispositivo de mando asegura un funcionamiento impecable del sistema. Debido a que los sensores y los procesadores del dispositivo de mando están disponibles en ejecución doble, se posibilita una comparación de las señales para la comprobación fiable.

Aparte de los sistemas con unión eléctrica entre el acelerador y el actuador, existen también sistemas con conexión mecánica (p.ej. tracción por cable). En



Regulación electrónica de la potencia del motor (EGas)
1 *Pedal acelerador,* **2** *Sensor del recorrido del pedal,* **3** *Dispositivo de mando con* **3a** *Microprocesador y* **3b** *Bus de datos,* **4** *Actuador de la mariposa.*

caso de fallo que desconecte el motor del actuador, se posibilita así un funcionamiento de emergencia.

Mediante la intervención electrónica de la mariposa, el EGas puede llevar a cabo funciones para la seguridad de la conducción, confort de marcha y para fines del motor. Al rango de la seguridad de conducción se cuenta, además del ASR, la regulación del par de arrastre del motor (MSR). Esta puede reducir el deslizamiento de frenado en las ruedas tractoras, a un valor no crítico, producido por el par de arrastre del motor, mediante una apertura precisa de la mariposa.

En el ámbito del confort de marcha se cuenta la regulación de la velocidad de crucero ("Tempomat") y la posibilidad de reducir con el EGas las a veces molestas reacciones a cambios de carga del vehículo al acelerar o levantar el pie del acelerador.

Un ejemplo de función del motor es la regulación de admisión para el ralentí efectuada sin EGas mediante un actuador separado en el bypass de la mariposa. Se está trabajando para emplear el EGas en otras mejoras para el motor (p.ej. para la reducción del consumo y de los gases de escape).

Regulación electrónica de la presión de sobrealimentación

En el dimensionado de motores turbo es importante, ademas de alcanzar con fiabilidad la potencia nominal, el conseguir una presión suficiente de sobrealimentación a números bajos de revoluciones. La meta es obtener pronto una presión de sobrealimentación, el desarrollo armónico de la presión, y con ello un transcurso constante del par de giro sobre las revoluciones y la posición del pedal acelerador, así como también el mejor rendimiento posible. Un compresor turbo de gases de escape (ATL) regulado mecánicamente alcanza esta meta solamente de forma insuficiente.

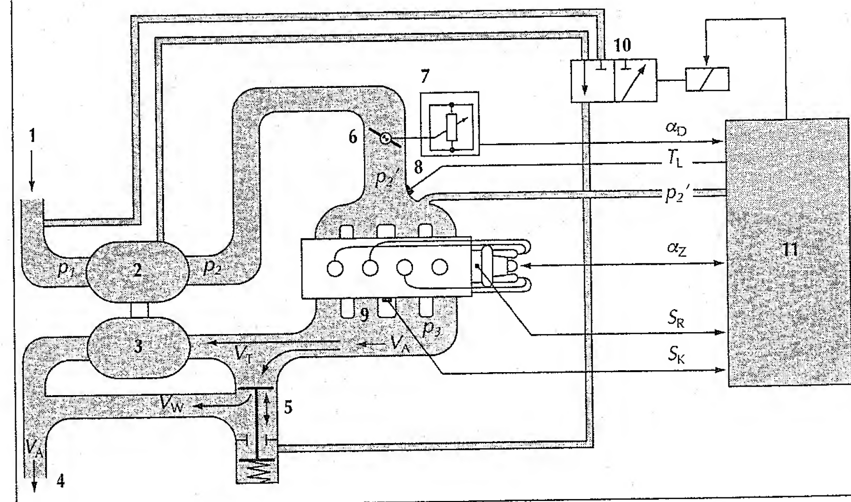
Por el contrario, la regulación electrónica de la presión de sobrealimentación con un ATL apropiado permite recorridos casi ideales de la presión de sobrealimentación a lo largo de los números de revoluciones así como también un buen comportamiento en cambios de carga. Los datos para la presión de alimentación por la carga del motor y el número de revoluciones están almacenados en campos característicos.

Las válvulas del compresor y de regulación Wastegate son dimensionadas de tal forma que se dispone de una carrera suficientemente grande de regulación. Mediante los impulsos de una válvula de regulación se determina en la válvula de regulación Wastegate para cada punto de funcionamiento un recorrido de regulación óptimo y con ello la consecución del valor teórico de la presión de alimentación. Como información, la carga puede servir tanto como la presión del tubo de aspiración o la cantidad de masa de aire aspirado.

Para obtener un buen grado de rendimiento del motor, se combina siempre la regulación de la presión de sobrealimentación con una regulación antidetonante. Así el motor no puede dañarse a causa de combustiones detonantes a pesar de un ángulo de encendido lo más avanzado posible.

Al comenzar una combustión detonante (p.ej. al usarse combustible con una resistencia al picado insuficiente) lo primero que se hace es retardar el ángulo de encendido.

Regulación combinada de combustión detonante y de carga de sobrealimentación
1 *Aire de aspiración,* **2** *Compresor,* **3** *Turbina,* **4** *Hacia la instalación de gases de escape,* **5** *Válvula de regulación Wastegate,* **6** *Válvula de estrangulamiento o mariposa,* **7** *Potenciómetro de la mariposa,* **8** *Sensor de temperatura,* **9** *Sensor de picado,* **10** *Válvula de mando,* **11** *Dispositivo de mando.* p_1 *Presión antes del compresor,* p_2 *Presión de sobrealimentación,* p_2' *Presión en el tubo de aspiración,* p_3 *Contrapresión de los gases de escape,* S_K *Señal del sensor de golpeteo,* S_R *Señal del número de revoluciones,* T_L *Temperatura del aire de carga,* V_A *Caudal de volumen de gases de picado,* V_T *Caudal a través de la turbina,* V_W *Caudal a través de la Wastegate,* α_D *Ángulo de la mariposa,* α_Z *Ángulo de encendido*



Para proteger al ATL de temperaturas excesivas de los gases de escape, primeramente se enriquece la mezcla de combustible/aire si el ajuste del ángulo de encendido está demasiado retardado y si esto todavía no fuera suficiente, se baja la presión de sobrealimentación.

Conmutación del tubo de aspiración
La meta de la concepción del motor es conseguir un par de giro máximo a un número bajo de revoluciones y una alta potencia nominal a número máximo de revoluciones. El recorrido del par de giro de un motor es proporcional a la masa de aire aspirado o al número de revoluciones del motor.

Un medio para influir en el par de giro es la ejecución geométrica del tubo de aspiración. La aspiración en los sistemas de carburador o de inyección central (Mono-Jetronic) necesitan tubos individuales cortos y, dentro de lo posible, de igual longitud para lograr una distribución uniforme de la mezcla de aire/combustible.

Los tubos de aspiración para sistemas de inyección individual solamente transportan aire; el combustible es inyectado antes de las válvulas de inyección. Esto ofrece mayores posibilidades para el conformado de los tubos de aspiración.

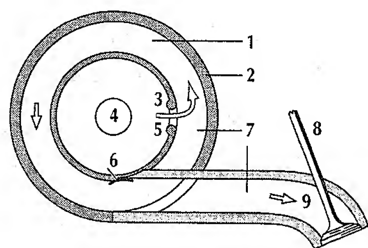
Los tubos de aspiración normales para sistemas de inyección individual constan de tubos individuales de oscilación y de colectores con válvula de estrangulamiento. Para su concepción se aprovechan:

– tubos cortos de oscilación que permiten una alta potencia nominal con pérdida simultánea de par de giro a revoluciones reducidas. Los tubos largos se comportan al contrario,
– grandes volúmenes de colectores que ocasionan efectos de resonancia a determinados intervalos de revoluciones, las cuales llevan a un mejor llenado, pero tienen como consecuencia posibles fallos de dinámica (alteraciones de la mezcla en cambios rápidos de carga)

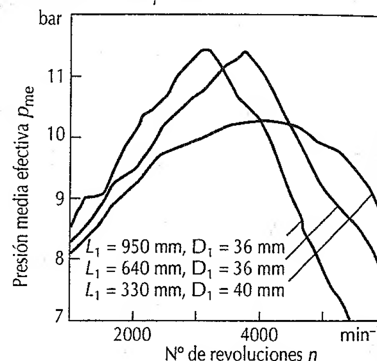
Un recorrido casi ideal del par de giro lo permite la conmutación apropiada del tubo de succión. Para ello son posibles las siguientes medidas dependientes de la carga del motor, de las revoluciones y de la posición de la mariposa:
– variación sin escalones de la longitud del tubo de aspiración,
– conmutación entre distintos largos de tubo de aspiración,
– conmutación entre distintos diámetros de tubo de aspiración,
– desconexión optativa de un tubo individual por cilindro por tubos de oscilaciones múltiples,
– conmutación a diferentes volúmenes de colectores.

Así, por conmutación de tubo se mejora ya sea la dinámica de la marcha o se reduce el consumo de combustible (dependiente de la relación de transmisión) a igual dinámica de marcha.

Variación sin escalones de la longitud del tubo de succión
1 *Pared lateral (cojinete para tambor),* **2** *Armazón fijo,* **3** *Tambor giratorio (distribuidor de aire),* **4** *Abertura de entrada de aire del tambor,* **5** *Abertura de entrada de aire de los canales de aspiración,* **6** *Junta (p.ej. lámina resorte),* **7** *Canales de aspiración,* **8** *Válvula de admisión,* **9** *Corriente de aire de aspiración*



Presión media efectiva según el número de revoluciones en tres longitudes de tubo de aspiración variables sin escalones
L_1 *Longitud efectiva del tubo de aspiración,* D_1 *Diámetro del tubo de aspiración*



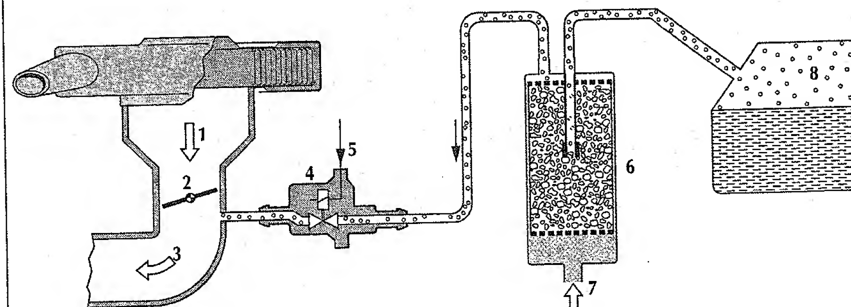
Sistema de retención de evaporación de combustible
Debido a la evaporación del combustible, se desprenden en el depósito hidrocarburos que van a la atmósfera. Este efecto crece al incrementarse la temperatura del medio ambiente. Las prescripciones legales sobre pérdidas por evaporación (véase también "Verificación de gases de escape y evaporación en motores Otto", pág. 494) se pueden cumplir con el uso de recipientes con carbono activo, los cuales conservan los hidrocarburos desprendidos en el depósito. Debido a su capacidad limitada de absorción, el carbono activo tiene que ser regenerado constantemente. Con el motor en marcha se aspira aire a través del recipiente de carbono activo y se aporta como mezcla al motor para su combustión. Si p.ej. se aporta un 1% del aire para el motor en forma de vapor de hidrocarburo, entonces la composición de la mezcla en el motor varía en un 20%. Para poder mantener las emisiones de gases de escape dentro de los límites deseados y garantizar las propiedades de funcionamiento del motor, la aportación al motor debe efectuarse de forma exacta. Por ello el sistema de mando del motor regula la válvula de regeneración ("Válvula de ventilación del depósito"). El caudal regula de forma casi continua dentro del rango de trabajo de la válvula de regeneración sobre un ajuste del campo característico con los parámetros de carga y de número de revoluciones.

En determinados intervalos de funcionamiento la regeneración se desconecta (marcha en vacío) o no puede actuar (carga plena: falta de depresión). Además, al conectarse la regeneración, la sonda Lambda vigila el cumplimiento de los límites establecidos para las cantidades aportadas de combustible. Si la influencia es demasiado grande, se reduce el caudal para mantener óptimos el comportamiento de marcha y las emisiones de gases de escape.

Reconducción de los gases de escape
Un método efectivo para la reducción de las emisiones de nitrógeno es la reconducción de los gases de escape (AGR). Mediante la adición de gases de escape ya quemados a la mezcla de aire/combustible se reduce la temperatura punta de combustión. Esta medida reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno dependientes de la temperatura.

Debido al solapamiento entre válvulas de admisión y de escape, ya se produce en todos los motores, y por el sistema en sí, una reconducción "interna" de los gases de escape. Según sea el tamaño de dicho solapamiento, queda una proporción de gas sobrante, el cual vuelve a ser aspirado con la mezcla de aire/combustible. En motores con regulación variable de las válvulas existe en principio la posibilidad de influir en

Sistema de retención de la evaporación de combustible
1 *Aire de aspiración,* **2** *Válvula de estrangulamiento,* **3** *Tubo de aspiración (hacia el motor),* **4** *Válvula de regeneración,* **5** *Del dispositivo de mando del motor,* **6** *Recipiente de carbono activo,* **7** *Aire de regeneración,* **8** *Vapor de combustible en el depósito de combustible*



las emisiones de óxidos de nitrógeno del motor mediante una reconducción interna de los gases de escape.

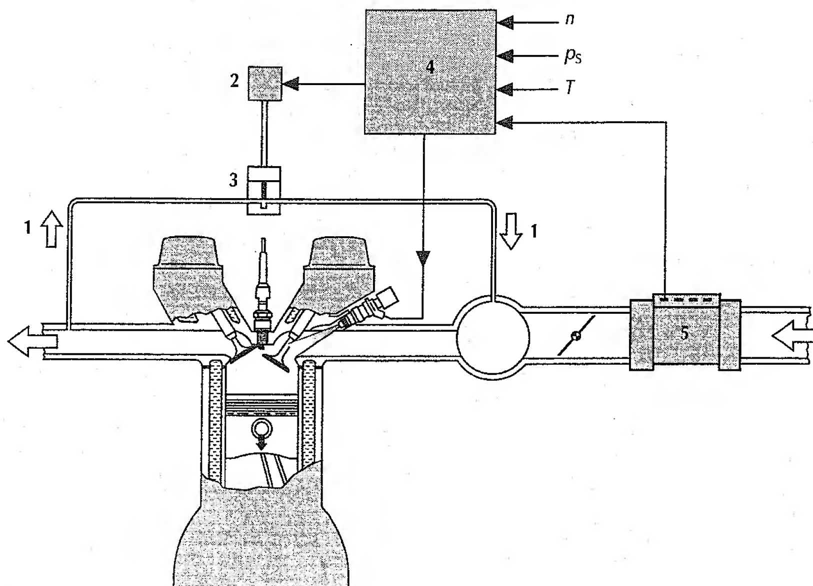
Los sistemas actuales trabajan casi exclusivamente según la reconducción externa de los gases de escape. Para ello se desvía de los gases de escape un caudal parcial definido y se aporta a la mezcla fresca a través de una válvula regulada. La regulación de la reconducción de las gases de escape se efectúa la mayor parte de las veces con sistemas neumáticos o mecánicos que dosifican la cantidad de la reconducción en función del número de revoluciones, presión del tubo de aspiración y temperatura del motor. En algunos sistemas el dispositivo electrónico de mando regula a través de un transformador electroneumático (EPW) la propia válvula AGR.

Mediante la reconducción de los gases de escape se reducen las emisiones de NOx hasta en un 60%. El límite de las proporciones de reconducción se determinan por el incremento de emisiones de HC, el consumo de combustible y el empeoramiento de la suavidad de marcha del motor. Por ello al ralentí se desconecta la reconducción de gases de escape, cuando de por sí no se producen emisiones dignas de ser mencionadas de NOx. Principalmente se emplea la reconducción de los gases de escape en los intervalos de carga parcial, ya que entonces está el mayor potencial. En el intervalo de cargas máximas la reconducción sólo es posible de forma limitada debido a las condiciones de presión desfavorables.

Una desventaja de los sistemas de reconducción de gases de escape es la sedimentación de impurezas de los gases de escape en las válvulas y conducciones, que reducen el paso de gases reconducidos a lo largo del tiempo de funcionamiento del motor.

Reconducción de gases de escape (ejemplo)

1 Reconducción de los gases de escape, 2 Transformador electroneumático, 3 Válvulas de reconducción de gases de escape, 4 Dispositivo de mando, 5 Medidor de masas de aire, n número de revoluciones, p_S Presión en el tubo de aspiración, T temperatura



Sistema combinado de encendido e inyección de gasolina Motronic

La Motronic, como control de motores, ha sufrido múltiples desarrollos posteriores desde su introducción en el año 1979. La base de la integración la forman los sistemas básicos de inyección de gasolina junto con el encendido totalmente electrónico llevado a cabo en los siguientes sistemas:

- KE-Motronic sobre la base de la inyección continua de gasolina KE.
- Mono-Motronic sobre la base de la inyección central intermitente (pág. 462).
- Motronic sobre la base de la inyección intermitente individual y a la cual hace referencia la descripción que se expone a continuación.

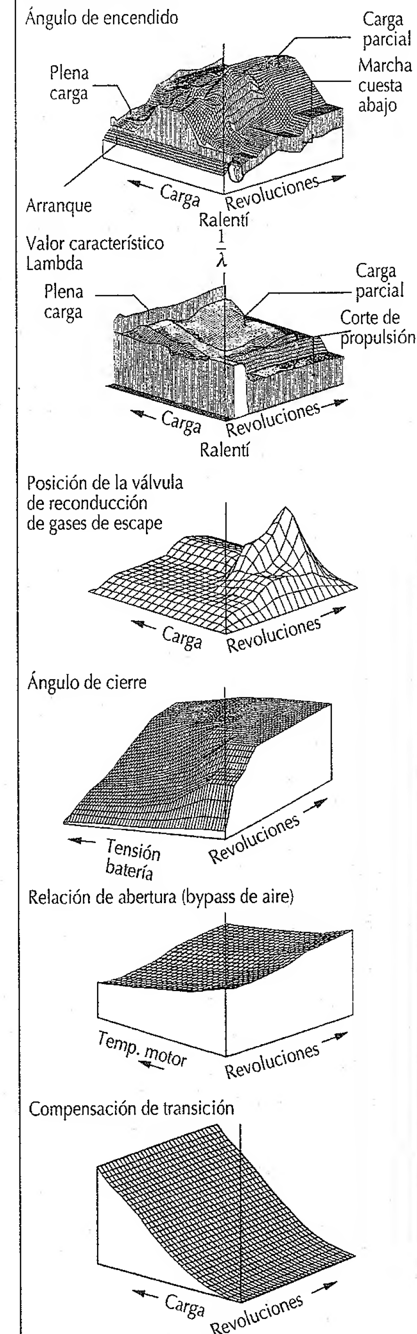
Captación y procesamiento de datos de medición

Tal como muestra el párrafo "parámetros de mando y comportamiento de funcionamiento" (pág. 434), el proceso de la combustión en el cilindro, y con él el de los gases de escape del motor, viene determinado de forma decisiva por la composición de la mezcla, su preparación, el punto o ángulo (α_Z) de encendido y la energía de encendido. Todos los parámetros que se necesitan para el proceso óptimo de la combustión como magnitudes de medición para el cálculo los envían sensores al dispositivo electrónico de mando.

Sensores

El número de revoluciones y el estado de carga forman las magnitudes principales de regulación. Para el cálculo del número de revoluciones y del ajuste del ángulo se utiliza la variación de la tensión inducida en un sensor inductivo. Para ello el sensor capta la influencia de un campo magnético a través de los dientes de una corona dentada colocada en el cigüeñal. El estado de carga se averigua por el caudal aire aspirado o por medición de la presión en el tubo de aspiración. A partir de estas magnitudes se determinan en un campo característico los parámetros óptimos para el tiempo de inyección y el ángulo de encendido. El procesamiento necesariamente simultáneo de las informaciones de ambas

***Campos característicos Motronic** (Ejemplos)*



magnitudes sólo lo pueden asegurar sistemas integrados.
De esta forma se evitan errores de estadística, los cuales se producen p.ej. por dispersiones unitarias de los sensores de carga. Mientras que la asignación no exacta en el intervalo de carga parcial normalmente sólo causa desventajas de consumo o de gases de escape, a plena carga significa un incremento del peligro de picado. La ordenación precisa del ángulo de encendido y del instante de la inyección vale para el sistema Motronic también en el caso dinámico.

Dispositivo de mando
A través de los sensores el dispositivo de mando capta el estado correspondiente del motor en tiempos muy cortos (milisegundos). Las conexiones de entrada eliminan las interferencias en las señales y las sitúan en un intervalo uniforme de tensiones.

El transductor analógico/digital transforma entonces las señales preparadas al rango numérico, en el cual el microprocesador efectúa todo el procesamiento de la información hasta las señales de salida. Las etapas finales de potencia ajustan las magnitudes en el nivel bajo de potencia a la salida del microprocesador hasta el nivel de potencia requerido por los elementos de ajuste. Una memoria semiconductora almacena todos los programas y campos característicos y posibilita de esta forma la reproducción inequívoca sin influencias por variaciones del nivel o de los elementos.

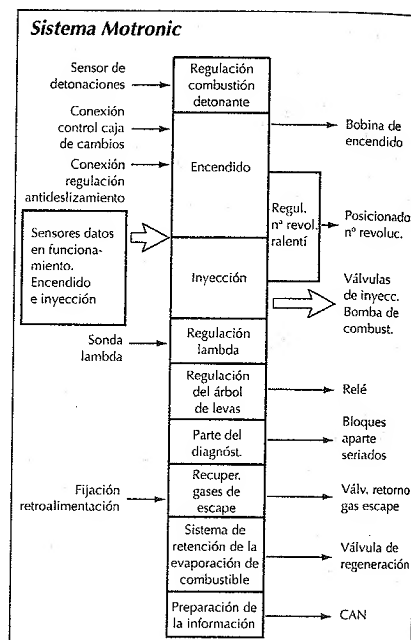
La exactitud digital se rige según la longitud de la palabra, la constancia de la frecuencia de los impulsos básicos de un reloj de cuarzo y el de tipo de algoritmos, con los cuales se desarrollan los cálculos. La constancia y precisión de las tensiones de referencia y los componentes utilizados en los circuitos de entrada influyen en la exactitud analógica.

La configuración del programa debe tener en cuenta los tiempos reales extremadamente cortos del motor. A números máximos de revoluciones en un motor de seis cilindros, se dispone entre dos encendidos solamente de tres milisegundos. En este tiempo tienen que realizarse todos los cálculos. Aparte de estas secuencias sincronizadas con el cigüeñal también existen otras sincronizadas en el tiempo. Además ambas se cortan con interruptores.

Elementos de mando
También en los elementos de mando se emplean los componentes de los sistemas individuales. Los sistemas modernos de Motronic disponen para el encendido del motor de bobinas de una sola chispa o de doble chispa.

Sistema Motronic
El Motronic consta de una serie de sistemas individuales, de los cuales el encendido y la inyección, como sistemas básicos, evidencian juntos mayor flexibilidad y más funciones que los sistemas individuales. Su característica es el gran número de campos característicos tridimensionales programables a voluntad para muchas funciones. Las ulteriores funciones parciales pertenecientes al equipo básico del Motronic son por la legislación sobre gases de escape y la optimización del consumo.

Principalmente por motivos de la estabilidad de los gases de escape a lo largo del tiempo de funcionamiento, la sonda



Lambda solamente se utiliza con regulación adaptiva previa.

La regulación antidetonante ha llegado a ser estándar debido principalmente a la mejora del consumo y el incremento de la potencia.

La regulación de revoluciones al ralentí, dependiente de los datos del sistema de encendido y de inyección, se inserta orgánicamente, igual que el sistema de retención de evaporación de combustible ("aireación del depósito") y la regulación por el árbol de levas.

Gracias a las crecientes prestaciones de los microprocesadores, un procesador puede efectuar todas estas funciones.

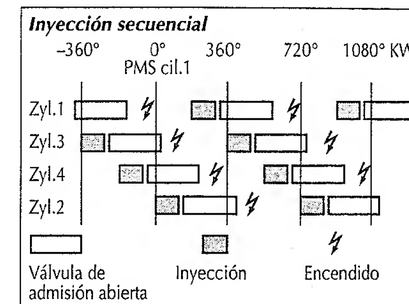
Procedimiento de adaptación
Además de los circuitos de regulación se emplean cada vez más los procedimientos de adaptación, porque los circuitos de regulación no pueden trabajar según necesidad a cualquier velocidad, debido a unos "tiempos muertos". Las magnitudes de ajuste de los circuitos de regulación sirven como magnitudes de medición para la adaptación.

Magnitudes de adaptación (campo característico Lambda, aire necesario al ralentí y ángulo de la válvula de estrangulamiento) reducen el volumen de trabajo en ajustes en la producción del vehículo y en el servicio técnico.

La adaptación del campo característico del ángulo de encendido y de la proporción de combustible regenerado del evaporado en el depósito llevan a un comportamiento óptimo del funcionamiento del motor, independientemente del tipo de carburante.

Para un comportamiento aún mejor de los gases de escape y del comportamiento dinámico de la transición, los sistemas Motronic poseen una inyección secuencial que dosifica la cantidad de combustible una vez por ciclo de trabajo. Según sean las condiciones de trabajo del motor, el combustible es inyectado, para una preparación mejor, antes de la abertura de la válvula de admisión.

Diagnóstico integrado
En sistemas regulados por microprocesadores el autodiagnóstico es parte del equipo base. Se efectúa paralelamente con otras funciones, como la inyección y el encendido, en el servicio normal de marcha. El autodiagnóstico cumple varias misiones:



1. Comprobación de todos los componentes y sistemas:

Con la cada vez mayor complejidad de las regulaciones del motor, no se puede renunciar al autodiagnóstico para la averiguación de causas y su reparación. La meta es la integración total del sistema en el diagnóstico.

2. Protección de los componente en peligro al aparecer fallos:

Un ejemplo típico es la protección del catalizador al haber fallos de combustión. Si en un cilindro se reconocen fallos de combustión, se desconecta la inyección en ese cilindro para proteger el catalizador de un sobrecalentamiento.

3. Proporcionar magnitudes de reemplazo para la marcha de emergencia:

En el caso de fallar sensores o actuadores, se dispone valores sustitutivos, para poder mantener un servicio de emergencia. P.ej. al fallar el sensor de carga (masa de aire, cantidad de aire y presión en el tubo de aspiración) se forma una señal sustitutiva con el número de revoluciones y el ángulo de la válvula de estrangulamiento. Al fallar el sensor de temperatura del motor, también se forma otro valor de reemplazo.

4. Indicación al conductor:
A consecuencia de estrategias de marcha de emergencia puede suceder que el conductor no se dé cuenta de fallos en el mando del motor. Por ello los fabricantes de automóviles usan cada vez más luces de señales, presentaciones visuales e instala-

ciones de aviso acústico, para avisar al conductor sobre los fallos.

En los EE.UU. se han publicado, por parte del California Air Resources Board (CARB) y la Environmental Protection Agency (EPA), normas precisas referentes a la On Board Diagnosis (OBD). Para Europa están en preparación prescripciones de esta índole. En esas prescripciones están reguladas por ley la vigilancia e indicación de fallos relevantes en los gases de escape.

5. Almacenamiento de informaciones detalladas:

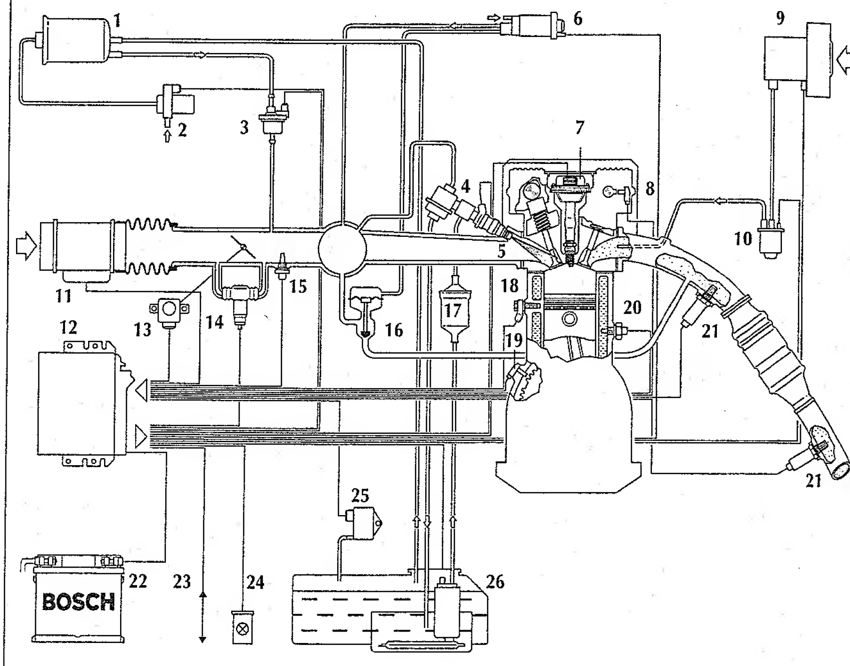
Adicionalmente a la información sobre los dispositivos de alarma descritos, el sistema guarda un código específico de fallos en un archivo de fallos de la unidad de mando de la regulación del motor.

Completando esto, también se guardan las condiciones del medioambiente y del funcionamiento del motor en el momento de la primera detección del fallo. En las normas SAE J1978, J1979 y J2012 se fijan el tipo y el volumen de los valores a almacenar. Están en preparación normas ISO para esa cuestión.

6. Lectura en el taller de los datos almacenados:

Utilizando el protocolo en las normas ISO 9141 y 14230 pueden transferirse a un comprobador de motor los datos almacenados de autodiagnóstico con el motor en marcha.

Como alternativa sencilla, la información puede también ser entregada me-



Sistema de control del motor Motronic

1 Recipiente de carbono activo, 2 Válvula de admisión de aire, 3 Válvula de regeneración, 4 Regulador de la presión del combustible, 5 Válvula de inyección, 6 Regulador de la presión, 7 Bobina de encendido, 8 Sensor de fases, 9 Bomba secundaria de aire, 10 Válvula secundaria de aire, 11 Medidor de masa de aire, 12 Dispositivo de mando, 13 Regulador de la válvula de estrangulamiento, 14 Regulador de ralentí, 15 Sensor de la temperatura del aire, 16 Válvula de reconducción de gases de escape, 17 Filtro de combustible, 18 Sensor de golpeteo, 19 Sensor de revoluciones, 20 Sensor de la temperatura del motor, 21 Sonda Lambda, 22 Batería, 23 Interfase de diagnóstico, 24 Lámpara de diagnóstico, 25 Sensor de diferencia de presión, 26 Bomba eléctrica de combustible

diante un código de intermitencia de la luz de señal del panel de instrumentos. El personal de taller puede así limitar las posibles causas de fallo y reducir el tiempo de la reparación.

Reticulación del sistema

Las funciones hasta ahora descritas forman el equipo base del Motronic. La cada vez mayor aplicación de la electrónica en el automóvil, como es el control de la caja de cambio de la potencia del motor (EGas), del antideslizamiento, del ordenador de a bordo, etc, hace que sea también cada vez mayor la interconexión de los sistemas. El intercambio de informaciones entre los sistemas permite reducir el número de sensores y un mejor aprovechamiento de los sistemas individuales. Con sistemas "más sencillos" se intercambian los datos de condiciones captados. Los sistemas más complejos requieren de un intercambio de datos por transmisión serial en una red local especial CAN (Controller Area Network, pág. 800) donde están integrados los dispositivos de regulación.

La gran cantidad de sistemas parciales en el Motronic, la interconexión con los sistemas descritos y las exigencias en cuanto a los gases de escape en algunos países dan como resultado una multitud de variantes de los datos de adaptación de los dispositivos de regulación del equipo de serie. Para agilizar la producción al fabricante y para minimizar los costes de existencias en almacén y de asistencia técnica, el Mototronic se entrega con una "programación apta para funcionar". Los datos concretos para las variantes se añaden luego al acabar en fabricación del vehículo o en una central de servicio técnico.

Configuración del sistema

El esquema del sistema típico Motronic muestra el circuito de combustible y la captación de la carga y de la temperatura como en la LH-Jetronic (pág. 471).

La componente de encendido consta de bobinas de una chispa o de doble chispa (una bobina de encendido por cada uno o por cada dos cilindros). También se admite la distribución convencional de la tensión de encendido por distribuidor accionado por el árbol de levas. La característica principal es la captación de las revoluciones y de las marcas de referencia en el cigüeñal.

Sistema Motronic ME

Un ulterior paso en el agrupamiento de diferentes funciones del control del motor es la integración de la regulación electrónica de la potencia del motor, EGas (pág. 474).

La razón principal es la reducción de dispositivos en la fabricación. Esto no se refiere solamente a los elementos mecánicos como pueden ser los armazones, enchufes y conducciones de unión, sino también a los componentes electrónicos. Esto vale en especial para la redundancia requerida por un dispositivo de regulación puramente EGas en la realización de funciones de seguridad. De la eliminación de tiempos, como los que pueden aparecer en sistemas distribuidos con transmisión serial y asíncrona se obtienen ventajas técnicas.

Deporte automovilístico

El empleo del Motronic en motores de competición evidencia dos peculiaridades:

- las revoluciones son considerablemente mayores que en motores de serie,
- la captación de datos de la carga no deben causar pérdida de potencia.

Por ello se utiliza como magnitud principal de regulación la abertura de la válvula de estrangulamiento en los motores de aspiración, y la presión del tubo de aspiración en los motores turbo. En ambas variantes está superpuesto un circuito de regulación Lambda que regula la mezcla en los intervalos de λ = 0,7 a 1,3. Debido a las condiciones de tiempo real de mucha importancia en el deporte automovilístico, solamente se utilizan sistemas de varios procesadores. Esta es una diferencia básica entre dispositivos de regulación Motronic para aplicaciones en competiciones y para equipos de serie.

Los resultados en el deporte automovilístico son un consumo específico de combustible extremadamente bajo y unos conocimientos que posteriormente se aprovechan en los vehículos de serie.

Técnica de comprobación del motor

Los vehículos modernos cada vez precisan menos mantenimiento e inspecciones, pues los sistemas electrónicos trabajan casi sin mantenimiento. A pesar de ello pueden aparecer fallos. La función del motor o de los sistemas electrónicos puede perjudicarse por desgaste, suciedad y corrosión o por desajuste. Por este motivo un diagnóstico rápido y fiable, en el caso de fallos, es una de las misiones más importantes en el servicio técnico, donde hay que diferenciar entre comprobación y diagnóstico. En la comprobación se averiguan determinados valores para luego compararlos con valores teóricos. En el diagnóstico (p.ej. del motor) se relacionan desviaciones de los valores teóricos con funciones del sistema, relaciones entre fallos, valores de experiencia, y todo ello con el propósito de averiguar el tipo de fallo o los componentes defectuosos.

Diagnóstico del motor

El motor, el encendido y la preparación de la mezcla cada vez son más complejos y menos accesibles. Por tal motivo en el taller los procedimientos universales, automatizados y libres de influencias subjetivas son los componentes principales de una técnica de comprobación con mando por ordenador. A ellos pertenecen:

- comparación de la potencia de los cilindros mediante cortocircuito selectivo del encendido o del análisis del giro redondo del motor el número momentáneo de revoluciones,
- comparación de la compresión por la corriente del estárter,
- averiguación de la distribución de la mezcla mediante medición selectiva de HC en los gases de escape,
- análisis de los recorridos primario y secundario de la tensión de encendido.

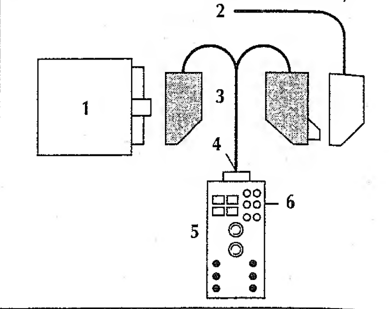
Comprobación de la electrónica

Especialmente para la comprobación de sistemas electrónicos en el ámbito del motor se emplean dispositivos de comprobación basados en la técnica ya existente de comprobación del motor.

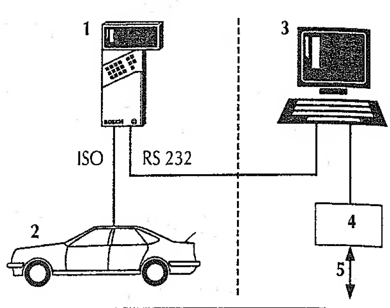
Para la comprobación se separa la conexión de enchufe entre la periferia y el dispositivo de mando y se intercala un adaptador universal de comprobación. La conexión al enchufe de la periferia es suficiente para la comprobación de exteriores del sistema (sensores, elementos de ajuste, cableados y alimentación eléctrica); para la comprobación dinámica de las funciones se conecta también el dispositivo de mando. El sistema electrónico individual requiere solamente un cable adaptador intercambiable y seleccionado específicamente para el sistema. En conjunto con los conmutadores de programas del adaptador universal de comprobación resultan secuencias lógicas de comprobación ajustadas al sistema a comprobar.

En el dispositivo de ensayo conectado se pueden leer valores de mediciones y señales, como impulsos de inyección y de encendido.

Comprobación de exteriores y de funciones
1 *Dispositivo de mando,* 2 *Mazo de cables principal,* 3 *Conducción de adaptador del sistema,* 4 *Conexión de enchufe,* 5 *Adaptador universal de comprobación,* 6 *bornes de conexión para dispositivo de ensayo*



Sistema de ensayo con autodiagnóstico
1 *Dispositivo de ensayo,* 2 *Objeto a comprobarse,* 3 *Sistema de información,* 4 *Módem,* 5 *Transmisión a distancia de datos*



Para las comprobaciones de funciones con el dispositivo de mando conectado, pueden utilizarse teclas del dispositivo de ensayo para simular condiciones de funcionamiento y evaluarse sus efectos.

Autodiagnóstico

La prevalencia del vehículo con electrónica exige la mayor consideración del alcance del servicio técnico. Además de esto, la creciente dependencia de la electrónica de las funciones básicas del vehículo exige máximos a su fiabilidad y obliga a programas de funcionamiento de emergencia para el caso de fallos.

La solución reside en la incorporación de funciones de autodiagnóstico en el sistema electrónico, es decir, en la capacidad de "inteligencia" electrónica ya instalada en el vehículo para controlar continuamente el sistema, reconocer fallos, almacenarlos y evaluarlos diagnósticamente.

El dispositivo de mando se prueba a sí mismo, p.ej. escribiendo muestras de ensayo en los archivos y volviéndolos a leer. En los archivos de programas las comparaciones con las muestras de comprobación aseguran que los programas y datos estén correctamente archivados, comprobándose también los buses de datos y de directorios.

En los sensores se comprueban las señales dentro de límites de plausibilidad y se registran también interrupciones y cortocircuitos. La comprobación de los elementos de ajuste puede efectuarse mediante valores límite de corriente durante la regulación del ajuste.

La evaluación de este "diagnóstico de a bordo" mediante "dispositivos de ensayo exteriores requiere una interfase o acoplamiento para las comunicaciones, tal como se establece de forma obligatoria en la ISO 9141. Este punto de interfase con nivel libre de bauds entre 10 bauds y 10 kbaud está dimensionado como interfase de uno o de dos cables de tal forma que se pueden agrupar varios dispositivos de mando en un enchufe central de diagnóstico.

Mediante el envío de una dirección de excitación reaccionan todos los dispositivos de mando conectados. Un sistema reconoce su dirección y emite una clave de reconocimiento en niveles de bauds.

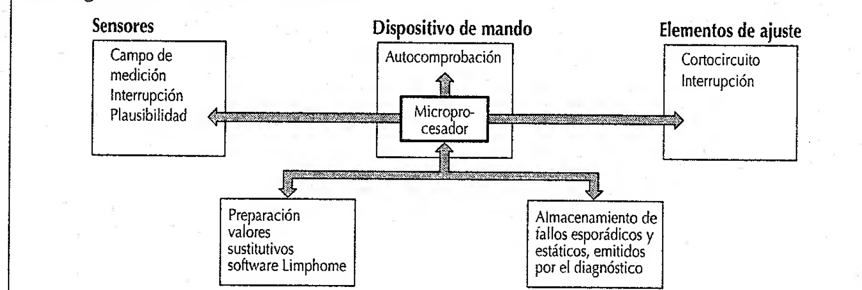
En función del tiempo entre impulsos el dispositivo de ensayo averigua los niveles de bauds y se ajusta automáticamente a él. Los subsiguientes bytes clave (adjudicados por la comisión especial vehículos de DIN) determinan cómo ha de efectuarse el restante intercambio de datos.

Los datos transmitidos a continuación se transforman en el dispositivo de ensayo programable en diagnósticos e informaciones en texto legible, configurados al sistema analizado.

El autodiagnóstico permite así

- la identificación del sistema y del dispositivo de mando.
- reconocer, almacenar y seleccionar fallos estáticos y esporádicos, con ruta del fallo, tipo de fallo y los parámetros correspondientes,
- emisión de datos reales, estados de conmutación, especificaciones,
- estimulación de funciones de sistema,
- programación de variantes de sistema.

Las memorias de programas del dispositivo de datos son módulos intercambiables; mediante una interfase es posible la puesta al día de los datos y la comunicación con los sistemas de información.



Autodiagnóstico de sistemas electrónicos

Gases de escape de los motores Otto

Productos de la combustión

Combustión completa

La combustión completa genera dióxido de carbono y agua.

Combustión incompleta

Hidrocarburos no quemados:
C_nH_m (parafinas, olefinas, aromáticos)
Hidrocarburos parcialmente quemados:
$C_nH_m \cdot CHO$ (aldehídos),
$C_nH_m \cdot CO$ (cetonas),
$C_nH_m \cdot COOH$ (ácidos carboxílicos),
CO (monóxido de carbono)
Productos del craqueo térmico así como de desintegración:
C_2H_2, C_2H_4, H_2 (acetileno, etileno, hidrógeno y otros), C (hollín), hidrocarburos policíclicos.

Subproductos de la combustión

Del nitrógeno del aire: NO, NO_2 (óxidos de nitrógeno); de los aditivos del combustible: óxidos de plomo, halogenuros de plomo; de las impurezas del combustible: gases sulfurosos.

Oxidantes

Por efecto de la luz del sol de los componentes de los gases de escape se generan oxidantes: peróxidos orgánicos, ozonos, nitratos de peroxiacilo.

Propiedades de los componentes de los gases de escape

Componentes principales

Los componentes principales de los gases de escape son nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. No son venenosos. El componente CO_2, que depende fundamentalmente del consumo de energía, adquiere sin embargo creciente importancia por su aportación al "efecto de invernadero".

Componentes secundarios

Monóxido de carbono CO: gas incoloro, inodoro e insípido. El respirar 30 minutos un aire que contenga un 0,3 % en volumen de CO puede ser mortal. Al ralentí el contenido de CO del gas de escape de los motores Otto es alto. Por esta razón no hay que tener en marcha los motores en garajes cerrados.
Monóxido de nitrógeno NO: gas incoloro, inodoro e insípido que expuesto al aire se transforma lentamente en NO_2. El NO_2 es un gas pardorrojizo, de olor penetrante y muy venenoso. Destruye el tejido pulmonar. El NO y el NO_2 se determinan corrientemente juntos y se denominan óxidos de nitrógeno NO_x.
Los hidrocarburos están contenidos en los gases de escape en mucha mayor proporción. En presencia de óxidos de nitrógeno y a la luz del sol forman oxidantes que irritan las mucosas. Algunos hidrocarburos son cancerígenos.
Partículas: comprenden todo material (excepto el agua no combinada), que en condiciones normales está contenido como cuerpo sólido (cenizas, carbono) o líquido en los gases de escape.

Formación de la mezcla

Los motores Otto trabajan con combustible de menor punto de ebullición que los motores diesel y preparan la mezcla de aire y combustible hasta el inicio de la combustión, durante más tiempo que los motores diesel, consiguiendo así una mezcla más homogénea que la de estos últimos. Los motores Otto trabajan en el campo de proporciones de mezcla estequiométricas (λ = 1). Los motores diesel trabajan siempre con exceso de aire (λ > 1). Al disminuir el exceso de aire, aumentan las emisiones de hollín, CO y CH.

Transcurso de la combustión

El transcurso de la combustión describe el transcurso del tiempo en la combustión, como relación entre combustible ya transformado y combustible aún por transformar.
La posición de la conversión máxima de energía referida al punto muerto superior del motor influye especialmente en el rendimiento y la temperatura de la combustión, y con ello en el consumo de combustible y la formación de NO_x.

En el motor Otto la combustión se inicia en el instante del encendido; en el motor diesel al empezar la inyección.

Purificación de los gases de escape

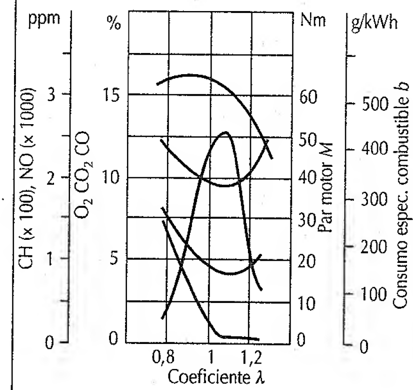
Las medidas para influir en la composición de los gases de escape en el motor Otto se pueden dividir en "Medidas en el motor" y "Medidas de tratamiento posterior". Según la legislación de cada país se adoptan las medidas que correspondan. En los países industrializados más importantes existe la tendencia a introducir los valores límites para gases de escape de los EE.UU. (en el caso que aún no se haya hecho). Exigen la colocación de un catalizador de tres vías como el acreditado en EE.UU. para la limpieza garantizada de los gases de escape.

Medidas adoptadas en el motor

Regulación de la mezcla:
El coeficiente λ de la mezcla suministrada al motor tiene una influencia dominante sobre la composición de los gases de escape. El motor da su par máximo a aproximadamente λ = 0,9, por lo cual corrientemente se fija con ese coeficiente la mezcla para plena carga. Para un consumo más favorable de combustible, λ = 1.1 es aproximadamente el óptimo. Fijándola así, las emisiones de CO y CH siguen siendo favorables; no obstante, es máxima la de óxidos de nitrógeno. Al ralentí se eligen coeficientes de aire λ entre 0,9 y 1,05. Si se regula la mezcla demasiado pobre, se alcanza el límite de funcionamiento del motor o se sobrepasa y al seguir funcionando crecen fuertemente las emisiones de hidrocarburos debido a fallos intermitentes en la combustión. Con el motor reteniendo se debe regular la mezcla muy rica, a menudo por debajo del límite inferior del encendido (λ = 0,9) y al mismo tiempo por aportación de aire hay que evitar una depresión demasiado elevada.

Otra medida adicional con el motor reteniendo, es cortar el suministro de combustible por encima del ralentí (desconexión de empuje). Se consigue la regulación exacta de la mezcla por medio de las instalaciones de inyección (pág. 462).

Por el coeficiente λ se influye en la composición de los gases de escape (CO, CO_2, O_2, NO_x, CH), *el par motor (M) y el consumo específico de combustible (b). Los valores son válidos para la zona de carga parcial de un motor Otto a número de revoluciones medio mantenido constante así como el llenado del cilindro (en el motor del vehículo, según el punto de trabajo, se realizan valores de λ en el intervalo aprox. de 0,85 a 1,15)*



Preparación de la mezcla:
La preparación de la mezcla comprende además de su regulación la calidad con que llega a la cámara de combustión. La homogeneidad o la formación de capas del combustible en el instante del encendido e inflamación, así como la temperatura de la mezcla influyen notablemente la inflamabilidad, la marcha de la combustión y, con ello, en la composición de los gases de escape. La formación de mezcla homogénea o de capas reguladas (mezcla grasa en la bujía, mezcla magra en las proximidades de la pared de la cámara de combustión) son diversas metas de las configuraciones . En los motores con carburador se utiliza el precalentamiento del aire de aspiración y del tubo de aspiración, especialmente para minimizar las películas de combustible contra las paredes.
Distribución uniforme:
Cada cilindro del motor debe funcionar con el mismo coeficiente de aire para el funcionamiento óptimo del motor. Para esto hay que asegurar que tanto el aire como el combustible se repartan uniformemente dentro de cada uno de los cilindros.

Recuperación de los gases de escape:
El gas de escape que se lleva de nuevo a la cámara de combustión sirve para reducir la temperatura punta de la combustión. Puesto que la formación de óxido de nitrógeno aumenta desproporcionadamente con la temperatura de la combustión, la recuperación de los gases de escape como medida para reducir la temperatura de la combustión es un método muy eficaz para reducir el óxido de nitrógeno. Mediante una ulterior optimización de las relaciones de gas recuperado también puede reducirse el consumo de combustible. La recuperación de gases de escape puede obtenerse por:

– recuperación interior de gases de escape mediante solape de válvulas, o
– recuperación exterior de gases de escape mediante válvulas de reconducción con regulación correspondiente.

Tiempos de maniobra de las válvulas:
Los solapes grandes son imprescindibles para un nivel alto de entregas al mismo tiempo se aumenta la recuperación interna de gases de escape. Con ello se empeoran especialmente el comportamiento en el ralentí y las emisiones de HC. Para un ajuste óptimo son deseables pues unos tiempos variables de regulación de las válvulas.

Relación de compresión:
Se sabe que una compresión elevada es una medida conveniente para mejorar el consumo de combustible, porque aumenta el rendimiento térmico. Sin embargo, por elevación de la temperatura punta de la combustión, también se eleva la emisión de óxido de nitrógeno.

Configuración de la cámara de combustión:
Las cámaras de combustión compactas, con poca superficie y sin fugas, dan por resultado bajas emisiones de HC. Una posición central de la bujía, con poco recorrido de la llama, conduce a una transformación más rápida relativamente completa de la mezcla y, con ello, a escasas emisiones de HC y bajo consumo de combustible. Las turbulencias previstas en la cámara de combustión aceleran de igual modo la combustión. Cámaras de combustión optimizadas de esta forma evidencian emisiones favorables a $\lambda = 1$ y mejoran la capacidad de marcha a ajuste pobre del motor.

La optimización consecuente de la cámara de combustión, ayudada por medidas exteriores (p.ej. el rayado en la admisión), lleva a la condición de motor de mezcla pobre, que puede trabajar con índices de aire $\lambda = 1{,}4$ a $1{,}6$. Aunque el motor de mezcla pobre se distingue por menos emisiones de gases de escape consumo de combustible favorable, necesita sin embargo, para cumplir con valores límite de gases de escape más "estrictos", de un tratamiento posterior catalítico para CO, NO_x y HC. El motor de mezcla pobre hasta ahora solamente pudo imponerse en Europa y Japón en algunos pocos modelos de vehículos con conceptos combinados de mezcla pobre, haciendo combinaciones entre emisiones y consumos, en especial porque el tratamiento posterior de gases de escape de dichos motores todavía está en sus comienzos.

La capacidad de marcha con mezcla pobre obtenida mediante la configuración de la cámara de combustión y unas turbulencias deseadas, también puede emplearse para la aplicación de altas relaciones de recuperación de gases con $\lambda = 1$. Así se puede bajar el consumo de combustible sin crear problemas en el tratamiento posterior, aunque no tanto como en los motores de mezcla pobre.

Sistema de encendido:
El tipo de bujías, su posición en la cámara de combustión, así como la energía y duración de la chispa influyen en la ignición y, con ello, por la evolución de la combustión, en las emisiones de los gases de escape. Esto es tanto más importante, cuanto más próximo a la zona pobre ($\lambda > 1{,}1$) trabaja el motor. Se influye en gran medida tanto en las emisiones de los gases de escape como en el consumo de combustible, ajustando el instante del encendido. Partiendo del instante del encendido óptimo para el consumo, si se retrasa éste, también se retrasa la combustión, por lo que al abrirse la válvula de escape, todavía no se ha completado. Por ello tiene lugar en el sistema de escape una reacción térmica posterior, con la que se reducen los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos sin quemar, pero aumenta el consumo de combustible. Por otro lado, aumentan el consumo, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos si el encendido está avanzado respecto al óptimo.

Ventilación del cárter del cigüeñal ("blowby"):
Los gases en el cárter del cigüeñal pueden contener un múltiplo de la concentración en hidrocarburos en comparación con los gases de escape del motor. Con sistemas apropiados se aportan estos gases al sistema de aspiración del motor y llegan a la cámara de combustión. Mientras que antes los gases de escape salían a la atmósfera sin ningún tratamiento, dichos sistemas hoy en día generalmente están prescritos por la ley.

Tratamiento posterior de los gases de escape

Recombustión térmica
En el transcurso del tratamiento posterior catalítico hasta el de hoy en día, primeramente se intentó bajar a las emisiones de los gases de escape mediante una combustión posterior térmica. Por este procedimiento se pueden quemar los componentes aún no quemados en los gases de escape durante un tiempo de permanencia a altas temperaturas. En un ajuste rico del motor ($\lambda = 0{,}7$ a $1{,}0$) es necesaria la insuflación de aire (aire secundario). En un ajuste pobre de motor ($\lambda = 1{,}05$ a $1{,}2$) se efectúa la combustión posterior con el oxígeno remanente presente en los gases de escape.

Para la insuflación de aire secundario se empleaban en el pasado bombas mecánicas accionadas directamente por el motor mediante correas. Puesto que la insuflación solamente es necesaria en la fase de marcha en caliente, dichas bombas son desconectables mediante embragues eléctricos. Las bombas eléctricas son más económicas y cada vez desplazan más a las mecánicas.

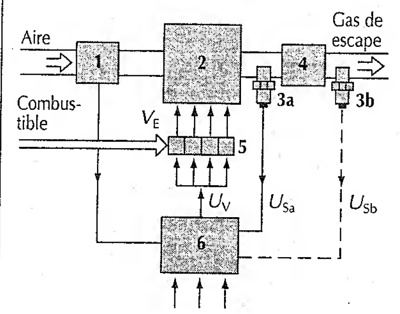
El tratamiento posterior térmico en la actualidad carece de importancia por su falta de potencial, en especial para cumplir con los reducidos valores límite de los NO_x. Sin embargo, con él se pueden bajar las emisiones de HC y de CO en la fase de funcionamiento y mientras el catalizador no haya alcanzado todavía su temperatura de régimen. Por ello para cumplir en el futuro con los valores límite más estrictos (legislación "low-emission" en California y fases II y III en la UE) el tratamiento posterior térmico con insuflación de aire durante la fase de calentamiento del motor en combinación con un tratamiento posterior catalítico puede llegar a tener un papel importante para reducir considerablemente el tiempo de calentamiento hasta que el catalizador alcanza su temperatura de régimen.

Recombustión catalítica
Los catalizadores consisten en un material de soporte con una capa activa y resistente a las sacudidas, alojado en un cuerpo aislante de la temperatura. Como materiales de soporte se utilizan granulados y monolitos de A1203 sinterizado. La forma monolítica, después de un largo tiempo de desarrollo ha resultado apropiada para los vehículos. Tiene las siguientes propiedades: el mejor aprovechamiento de la superficie del catalizador, durabilidad con elevada resistencia mecánica, poca capacidad calorífica y menor presión contra los gases de escape. La capa de catalizador activo consta de pequeñas cantidades de metal noble (Pt, Rh, Pd) y es sensible al plomo. Para evitar que la capa activa sea ineficaz por envenenamiento por el plomo, los motores con catalizadores sólo tienen que funcionar con gasolina sin plomo. La relación de conversión del catalizador depende principalmente de la temperatura de trabajo. Ya a partir de los 250 °C comienza una conversión de elementos contaminantes digna de mención. Las condiciones de funcionamiento ideales para relaciones altas de conversión y para una larga vida útil se dan entre aprox. 400 y 800 °C.

El catalizador instalado cerca del motor aprovecha la temperatura elevada de los gases de escape y da un rendimiento óptimo, pero con una elevada carga térmica. Las temperaturas máximas admisibles apenas superan los 1000 °C y por ello hoy en día se elige casi siempre la colocación debajo del suelo del vehículo que es menos crítica. Los catalizadores de oxidación trabajan con exceso de aire, ya sea tomándolo del motor o insuflado adicionalmente, para oxidar el CO y los HC. Los catalizadores de reducción trabajan sin insuflación de aire, con insuficiencia de aire, y reducen los óxidos de nitrógeno.

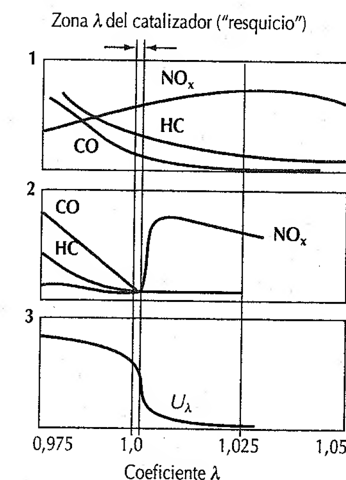
Esquema de funcionamiento de la regulación Lambda

1 Medidor de masas de aire, **2** *Motor,* **3a** *Sonda Lambda 1,* **3b** *Sonda Lambda 2(solo si necesaria),* **4** *Catalizador,* **5** *Válvulas de inyección,* **6** *Dispositivo de mando, U_S Tensión de sonda, U_V Tensión de mando de la válvula, V_E Volumen de inyección*



Efecto del catalizador en función del coeficiente λ

1 *Emisión de gases de escape antes del catalizador de tres vías,* **2** *Emisión de gases de escape después del catalizador de tes vías,* **3** *Señal eléctrica de la sonsa lambda, U_A Tensión de la sonda*



Mediante una disposición en serie de un catalizador de oxidación y otro de reducción, formando el catalizador de doble bancada, y con insuflación de aire entre los dos catalizadores pueden reducirse los NO_x así como también los HC y los CO. Los inconvenientes son, sin embargo, el funcionamiento desfavorable del consumo del motor (λ = 0,9) y los costes considerables (dos catalizadores, insuflación de aire).

La mejor concepción para el tratamiento posterior de los gases de escape en motores Otto ha resultado ser el catalizador de tres vías o catalizador selectivo con regulación lambda. Con él se reducen en medida suficiente los tres componentes nocivos cuando el motor funciona con una mezcla estequiométrica. El "resquicio" para la disminución óptima de los tres componentes, es muy estrecho. Por ello, para este concepto no se puede utilizar una regulación pura de mezcla.

Regulación lambda

Para cumplir con los valores reducidos exigidos hoy en las emisiones de los contaminantes monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC) en Europa, EE.UU. y Japón se ha impuesto el tratamiento posterior de los gases de escape con la ayuda de un catalizador de tres vías.

Para la combustión completa del combustible hacen falta 14,7 kg de aire por cada kg de combustible. Para caracterizar la composición de la mezcla se ha definido el coeficiente λ (lambda). Es la relación entre la relación actual aire-combustible a la relación estequiométrica aire-combustible.

En el motor Otto se aplican dos conceptos de regulación para la optimización de los gases de escape:

Regulación λ = 1

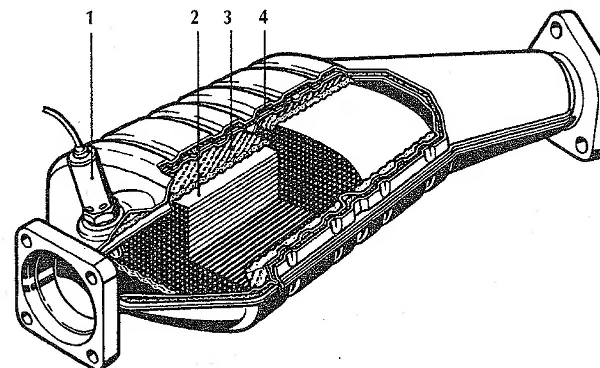
En este concepto de eficacia máxima en la minimización de contaminantes el motor ha de funcionar en un intervalo muy estrecho λ = 1 ± 0,005 (ventana de catalizador). Esta exactitud se logra solamente con la regulación precisa de la mezcla utilizando una sonda lambda como sensor delante del catalizador. Con una segunda sonda detrás del catalizador se puede incrementar aún más dicha precisión.

Regulación λ > 1 (Regulación pobre)

La ventaja principal reside en una reducción del consumo de combustible mediante un funcionamiento pobre, es decir no estrangulado. El resultado de este concepto de regulación depende principalmente de la disponibilidad de catalizadores que puedan reducir los NO_x a funcionamiento pobre. El límite de funcionamiento de los motores Otto en el intervalo pobre se alcanza a λ ≈ 1,7, a pesar del empleo de medidas en el motor.

Catalizador de tres vías de doble bancada con sonda lambda

1 Sonda lambda, **2** *Monolito,* **3** *Capas de tejido de alambre,* **4** *Armazón doble con aislante térmico*



Sondas lambda

Sonda de dióxido de circonio (λ = 1)

Esta sonda trabaja según el principio de la célula galvánica de concentración de oxígeno con electrólito seco, cuya cerámica consta de dióxido de circonio y óxido de itrio. Como conductor casi puro de iones de oxígeno, esta mezcla de óxidos separa el gas de escape del aire circundante.

En los electrodos Cermet de platino la tensión eléctrica que aparece corresponde a la ecuación de Nernst:

$$U_S = R \cdot T/4\ F \cdot \ln (p_{O2}''/p_{O2}')$$

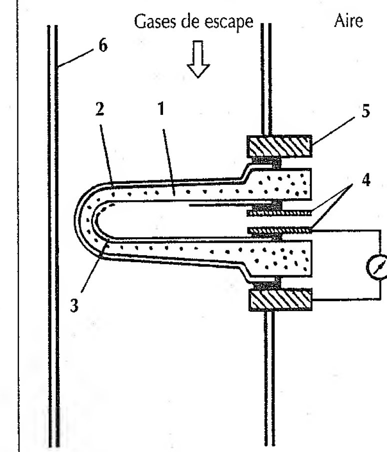
siendo

R constante general de los gases,
F constante de Faraday,
T temperatura absoluta,
p_{O2}'' presión parcial de oxígeno de la carga de referencia,
p_{O2}' presión parcial de oxígeno en el gas de escape.

La deducción del valor de lambda del gas de escape por medición de la concentración de oxígeno sólo es posible cuando los electrodos catalíticamente activos establecen el equilibrio termodinámico de los gases. En tal caso la línea característica de esta sonda con λ = 1 tiene una característica de salto. Cuando los componentes del gas de escape están muy concentrados, que no están entonces en equilibrio térmico, su transformación sólo es parcial y se evidencian desplazamiento del coeficiente λ en la línea característica de la sonda, que deben ser compensados en la aplicación motórica. Con una calefacción eléctrica de la sonda la dependencia de la

Sonda de dióxido de circonio

1 *Electrolito seco de ZrO_2,* **2** *Electrodo exterior de Pt,* **3** *Electrodo interior de Pt,* **4** *Contactos,* **5** *Contacto con el armazón,* **6** *Tubo de gases de escape*



temperatura de la línea característica es minimizada.

Sonda resistiva

Los óxidos semiconductores como el dióxido de titanio o el titanato de estroncio varían su conductividad volumétrica debido a la variación de la concentración de huecos de O_2 de los óxidos.

A este efecto se superpone la dependencia de la temperatura de la conductibilidad. Así, la determinación del valor de lambda depende de la calidad de la regulación necesaria de la temperatura (mediante la variación de la potencia de calefacción).

Sonda pobre

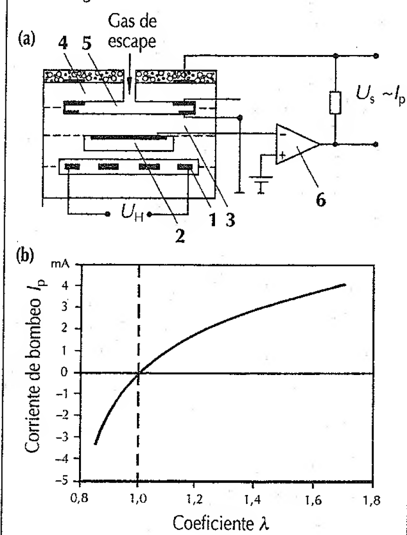
La sonda de "salto" descrita (sonda de dióxido de circonio) sólo ha encontrado una aplicación limitada en el rango pobre (lambda cerca de 1). La aplicación de medidas especiales para estabilizar la sonda y el empleo de un calefactor potente (18 W) permiten su empleo hasta $\lambda = 1,5$. La sonda pobre, según el principio de corriente límite, permite la medición de todos los valores por encima de $\lambda = 1$.

Sonda de banda ancha

(a) *Estructura esquemática,* (b) *Corriente de bombeo en dependencia del coeficiente* λ

I_p *Corriente de bombeo,* U_H *Tensión de calefacción,* U_S *Tensión en la sonda,*

1 *Calefactor,* **2** *Referencia de aire,* **3** *Célula de Nernst,* **4** *Célula de bombeo,* **5** *Barrera de difusión,* **6** *Electrónica de regulación*



Al aplicarse una tensión eléctrica exterior a los dos electrodos colocados en una cerámica de ZrO_2, se bombean iones de O_2 del cátodo al ánodo. Puesto que una barrera de difusión impide el paso sucesivo de las moléculas de O_2 del gas de escape, se alcanza una saturación de corriente por encima de un valor de discriminación. La corriente límite obtenida es casi proporcional a la concentración de oxígeno. Este principio especial se puede aplicar en especial en concepciones pobres. Sin embargo, en concepciones pobres mixtas en las cuales a menudo se desea un valor teórico de $\lambda = 1$, la sonda de banda ancha es más apropiada.

Sonda de banda ancha

Esta sonda es una combinación de sonda pobre según el principio de corriente límite y de sonda de dióxido de circonio (célula de concentración de Nernst). Como sensor de dos células entrega una señal clara y creciente de forma lineal, en conjunto con una electrónica de regulación, dentro de un amplio intervalo de valores lambda ($0,7 < \lambda < 4$).

La célula de bombeo y la de concentración son de ZrO_2 y ambas cubiertas con dos electrodos de platino porosos y dispuestos de tal forma, que entre ellos se produce una ranura de medición de 10 a 50 µm de altura. Esta ranura de medición está en contacto con la atmósfera gaseosa circundante a través de una abertura de admisión de gas; al mismo tiempo es la barrera de difusión que determina la corriente límite. Una conexión electrónica regula la tensión que se produce en la célula de bombeo de tal forma que la composición del gas en la ranura de medición es constantemente con $\lambda = 1$. Esto equivale a una tensión de 450 mV en la célula de concentración. Con gas de escape pobre la célula de bombeo bombea el oxígeno de la ranura de medición hacia fuera. Con gas de escape rico se aspira oxígeno del gas de escape circundante (descomponiendo CO_2 y H_2O) hacia dentro de la ranura e invierte el sentido de la corriente. Así la corriente de bombeo es proporcional a la concentración de oxígeno o su necesidad. Un calentador integrado proporciona una temperatura de funcionamiento de al menos 600 °C.

Tipos de regulación

Regulación de dos puntos

La ya descrita sonda de dióxido de circonio con característica de salto a $\lambda = 1$ se presta para regulaciones de dos puntos. Una magnitud de ajuste, compuesta de salto de tensión y de rampa, varía su sentido de ajuste en cada salto de tensión que indique un cambio rico/pobre o pobre/rico. La amplitud de esta magnitud de ajuste se determina de forma típica entre el 2 y el 3%. De esta forma resulta una dinámica del regulador limitada principalmente por la suma de los tiempos muertos.

La típica "medición errónea" de esta sonda, debida a la variación de la composición del gas de escape, puede ser compensada de forma regulada configurando el transcurso de la magnitud de ajuste intencionadamente de forma asimétrica. Para ello se suele preferir mantener el valor de la rampa durante el salto de sonda durante un tiempo de permanencia regulado t_V después del salto de sonda.

Regulación de dos puntos con sonda de mando detrás del catalizador

La influencia de interferencia sobre la exactitud a $\lambda = 1$ en el punto de salto ha sido minimizada mediante un recubrimiento modificado. A pesar de ello actúan el envejecimiento y las influencias ambientales (envenenamientos). La sonda detrás del catalizador está mucho menos expuesta a estas influencias. El principio de la regulación con dos sondas se basa pues en que el desplazamiento regulado hacia rico o hacia pobre sea modificado de forma aditiva mediante un anillo de regulación "lento".

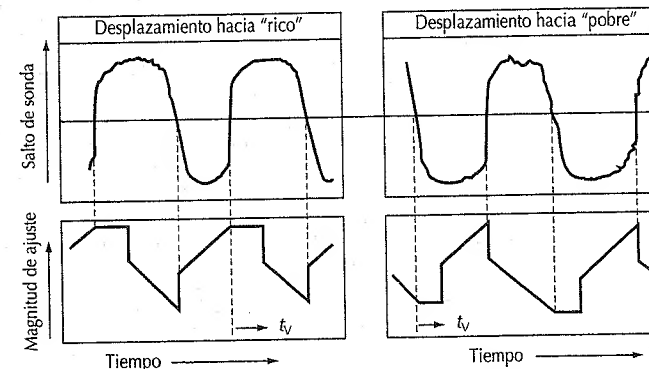
La constancia en el tiempo que así se consigue es imprescindible para las disposiciones que actualmente entran en vigor para los gases de escape.

Regulación continua con sonda de banda ancha

La dinámica determinada de una regulación de dos puntos solamente se puede mejorar si se mide realmente la desviación de $\lambda = 1$. Con la sonda de banda ancha se obtiene una regulación continua para $\lambda = 1$ con una amplitud estacionaria muy reducida juntamente con una alta dinámica. Los parámetros de esta regulación se calculan y ajustan en función de los puntos de trabajo del motor. En especial se compensan más rápidamente mediante este tipo de regulación lambda los inevitables errores residuales de las regulaciones previas estacionaria y no estacionaria. Una ulterior optimización de las emisiones de gases de escape reside en el potencial de los valores teóricos de regulación $\lambda \neq 1$, p.ej. en el intervalo pobre si así lo requieren las condiciones de funcionamiento del motor (p.ej. marcha en caliente). Una ampliación hacia la regulación pobre con las ventajas e inconvenientes citados solamente significa la determinación de otros valores teóricos de regulación.

Transcurso de las magnitudes de ajuste con desplazamiento regulado lambda (regulación de dos puntos)

t_V *Tiempo de permanencia después del salto de sonda*



Comprobación de los gases de escape y de la evaporación

Programa de comprobación
Para poder determinar exactamente las cantidades de las emisiones contaminantes, hay que comprobar el automóvil en una célula de comprobación de gases de escape que reproduzca exactamente las condiciones prácticas de funcionamiento en marcha. Solamente de esta forma se pueden realizar ensayos de gases de escape que sean comparables.

El vehículo que se ensaya se coloca sobre unos rodillos giratorios, que simulan, mediante resistencia de giro correspondiente, la resistencia al rozamiento y al aire y también al peso del vehículo mediante masas de volantes de inercia conectables. De la refrigeración necesaria se ocupa un ventilador. Para la determinación de las emisiones contaminantes se "conduce" a lo largo de un tramo exactamente definido. Durante este tiempo se recoge el gas de escape producido, que se analiza al final del programa de funcionamiento en cuanto a sus masas de productos contaminantes.

Contrariamente a lo que sucede en la recogida de gases de escape y determinación de las emisiones, los programas de marcha prescritos no están regulados de manera uniforme en los diferentes países. En algunos de ellos, además de las emisiones limitan también las pérdidas por evaporación en el sistema de combustible.

Banco de ensayos con rodillos
Para reproducir las fuerzas de inercia, la resistencia del vehículo a la rodadura y al aire, se aplica una carga de frenado (resistencia de los rodillos contra su rotación) apropiada mediante frenos de torbellinos de agua, frenos de corrientes de Foucault o máquinas de corriente continua. La masa del vehículo es imitada mediante masas de inercia de diferentes tamaños conectables con los rodillos a través de embragues rápidos. Hay que mantener muy exactamente el transcurso de la carga de frenado sobre la velocidad y la masa de inercia requerida (las desviaciones llevan a valores de medición falsos). En los resultados de las mediciones también influyen la humedad del aire, la temperatura y la presión.

Curvas de recorrido
El ciclo predeterminado de conducción con procesos prescritos de cambios de marchas, fases de frenado y de ralentí, así como también de paros del vehículo, corresponde a la forma de conducir en el tráfico normal de una ciudad grande. Normalmente los vehículos están ocupados por conductores que conducen siguiendo las indicaciones de velocidad de la pantalla de un monitor.

Toma de muestras y procedimiento de dilución (Método CVS)
Con el método de dilución (CVS) adoptado también en Europa desde 1982 el procedimiento de toma de muestras de los gases de escape es común en todo el mundo.

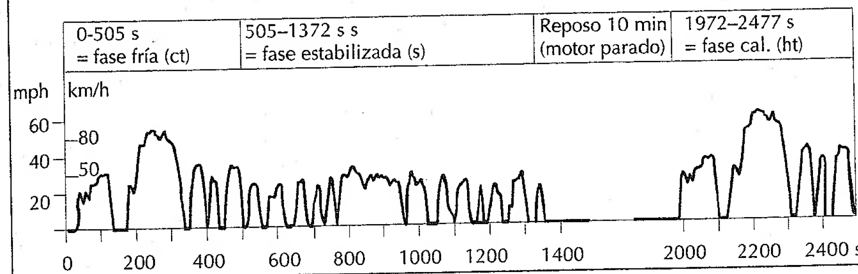
<u>Toma de muestras y análisis de las emisiones</u>
Los gases de escape expulsados por el vehículo de ensayo se diluyen con aire circundante en la proporción de 1:10 y se aspiran con una disposición especial de bombas de forma que el caudal de gas de escape y aire de dilución sea constante, es decir que el aire para la mezcla se rige por la cantidad de gas de escape expulsado. Durante toda la prueba se toma una cantidad constante de la corriente de gas de escape diluido y se recoge en una o varias bolsas. Al final del ciclo de conducción la concentración de productos contaminantes en las bolsas de recogida corresponde exactamente al valor medio de las concentraciones en toda la mezcla de gas de escape y aire aspirada. Puesto que se puede determinar la cantidad transportada de dicha mezcla, se calculan, mediante las concentraciones de los productos contaminantes, las masas de materias contaminantes emitidas durante la prueba. Ventajas del procedimiento: se evita la condensación del vapor contenido en los gases de escape, lo cual evita una clara reducción de las pérdidas de óxidos de nitrógeno en la bolsa. Además se reducen considerablemente las reacciones posteriores entre los componentes del gas de escape (principalmente HC). Pero debido a la dilución baja la concentración de los productos contaminantes en la misma relación que la dilución, y esto exige el empleo de analizadores más sensibles.

<u>Analizadores y equipos de dilución</u>
Como equipo de bombeo para la consecución de un caudal constante durante el ensayo se usan indistintamente dos procedimientos. En el primero un ventilador aspira la mezcla de gas/aire a través de eyector Venturi, mientras que en el segundo se utiliza una soplante especial de pistones rotatorios (soplante de Roots). Ambos métodos determinan el caudal con suficiente exactitud.

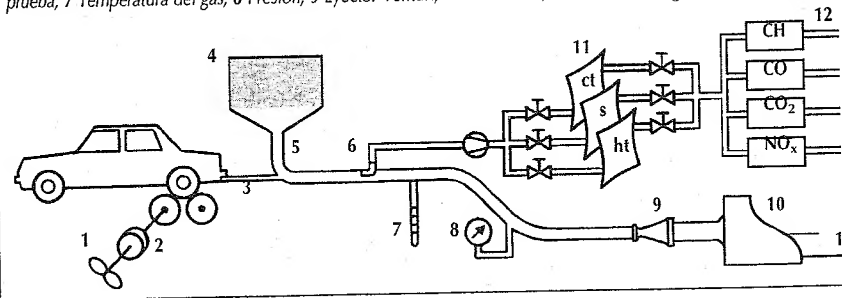
Determinación de las pérdidas por evaporación
Independientemente de los productos contaminantes que se producen durante la combustión en el motor, un vehículo emite además cantidades de HC por la evaporación de combustible en el circuito y en el depósito de combustible. En algunos países (p.ej. EE.UU. y Europa) rigen normas para limitar esta evaporación.

<u>Ensayo SHED</u>
El ensayo SHED como procedimiento más usual para la determinación de las pérdidas por evaporación se realiza en dos fases —con acondicionamiento distinto— en una cámara hermética a los gases (carpa SHED). El primer ensayo se realiza con un depósito de combustible llenado en un 40%. Durante el calentamiento del combustible a analizar (temperatura de inicio 10 a 14 °C) comienza la medición en sí de la concentración de HC en la cámara. Termina después de una hora con un incremento de la temperatura de 14 °C con una nueva medición de la concentración de HC. Las pérdidas por evaporación se determinan mediante la diferencia entre las mediciones antes y después del ensayo. Durante toda la medición las ventanas y la

Ciclo de ensayos USA (Federal Test Procedure, FTP 75)
Longitud del ciclo 11,115 millas — *Velocidad media: 34,1 km/h*
Duración del ciclo: 1877 s+ 600 s reposo — *Velocidad máxima: 91,2 km/h*



Instalación de ensayo para la prueba federal de EE.UU. (en este caso con instalación Venturi)
1 Freno, 2 Volante de inercia, 3 Gases de escape, 4 Filtro de aire, 5 Aire de dilución, 6 Eyector Venturi de toma de prueba, 7 Temperatura del gas, 8 Presión, 9 Eyector Venturi, 10 Ventilador, 11 Bolsa de recogida, 12 Al escape



tapa del maletero del vehículo deben estar abiertas. Para la determinación de la emisión por evaporación en la segunda fase del ensayo se "calienta" primeramente el vehículo según el ciclo de ensayo prescrito en cada país y luego se deja en la cámara SHED a una temperatura de 23 a 31 °C. La medición averigua el incremento de la concentración de los HC durante una hora de enfriamiento del vehículo. La suma de ambos valores de medición debe estar por debajo del valor límite actualmente exigido de 2 g de HC evaporados. En EE.UU. se ha resuelto agravar el ensayo SHED.

Ciclo de ensayo USA-FTP 75

La curva de recorrido del ciclo de ensayo FTP 75 con tres tramos de ensayo se compone de transcursos de velocidades medidos en Los Angeles durante el tráfico punta laboral de la mañana:

Tramo de ensayo		Duración del ensayo (s)
Fase fría	ct	0...505
Fase estabilizada	s	506...1372
Fase caliente	ht	1072...2477

Después del acondicionamiento correspondiente del vehículo (parado durante 12 h a temperatura ambiente de 20 a 30 °C) se arranca y conduce por la curva de recorrido predeterminada:

Fase ct: recogida de los gases diluidos en la bolsa 1 durante la fase fría de transición.

Fase s: conmutación de la recogida de prueba en la bolsa 2 de la fase estabilizada (después de 505 s), sin interrupción del programa de conducción. Pausa de 10 min. inmediatamente después de finalizar-se la fase estabilizada (después de 1372 s).

Fase ht: nuevo arranque del motor para el ensayo en caliente (duración 505 s), cuyo transcurso de velocidades coincide con el de la fase en frío, durante la cual se recoge el gas de escape en la bolsa 3. Las pruebas en las bolsas de las fases anteriores son analizadas en la pausa anterior a la fase caliente, puesto que no deben permanecer más de 20 minutos dentro de las bolsas.

Al terminarse la curva de recorrido se analiza la prueba de la tercera bolsa. Las masas de productos contaminantes (HC, CO y NO_x) ponderadas y sumadas de las tres bolsas son referidas al trecho recorrido durante el ensayo y expresadas como emisiones contaminantes por milla. Las cantidades máximas de productos contaminantes son reguladas de diferente forma en los distintos países. Este procedimiento de ensayo se emplea en EE.UU., incluida California (tabla 1) y además en otros países (tabla 2). Todo vehículo con permiso de circulación debe cumplir estos valores límite (independientemente del tipo y de su cilindrada) sobre un recorrido de 50000 millas.

La garantía de cumplimiento sobre un recorrido de 100000 millas permite una emisión mayor de productos contaminantes.

La ley aprobada en 1990 ("Clean Air Act") prevé, aparte de muchas medidas para la protección del medio ambiente, unos valores límite más estrictos para las emisiones de los automóviles a partir de 1994 (ver tabla 1). California ya ha aprobado dichos valores más estrictos para el año 1993, conjuntamente con la introducción de la "clean fuel vehicle fleet" (tabla 3). Allí se toma en cuenta, mediante el nuevo valor límite NMOG, el potencial productor de ozono de los HC en el gas de escape. La emisión NMOG puede ser reducida adicionalmente mediante combustibles especialmente mezclados (clean fuels).

En el arranque de un vehículo a temperaturas bajas se producen emisiones contaminantes especialmente altas debido al enriquecimiento necesario para el arranque en frío, las cuales no pueden medirse con el ensayo actualmente válido de medición de gases de escape (a temperatura de ambiente de 20 a 30 °C). Para también delimitar esta emisiones de contaminantes, la "clean air act" prevé a partir de 1994 un ensayo de gases de escape a –6,7 °C. Sin embargo solamente se determina un valor límite para el CO con 10 g/milla.

Ciclo de ensayos y valores límite ECE/EG

El ciclo de ensayos ECE/EG dispone de una curva de recorrido producida sintéticamente. Esta curva de recorrido describe con buena aproximación el comportamiento de conducción de conductores en el tráfico de ciudad. Desde 1993 este ciclo ha sido ampliado con una proporción de tráfico fuera de la ciudad de hasta 120 km/h (véase figura). Este nuevo ciclo de ensayos ECE/EG actualmente rige en los siguientes países:

Tabla 1. Valores límite para USA-FED (49 estados) y California. Ciclo de ensayo FTP 75

Año del modelo	Región	CO g/milla	NMHC[1] g/milla	NO_x g/milla	Evaporación g/ensayo
1993	CAL	3,4	0,25	0,4	2,0
1994	FED	3,4	0,25	0,4	2,0
2003 (propuesta)	FED	1,7	0,125	0,2	

[1] NMHC: Non Methane Hidrocarbons (Total hidrocarburos menos proporción de metano)

Tabla 2. Valores límite para Suiza, Austria, Suecia, Noruega, Finlandia, Méjico, Brasil, Australia, Canadá, Corea del Sur. Ciclo de circulación FTP 75

País	Fecha entrada en vigor	CO g/km	HC g/km	NO_x g/km	Evaporación g/ensayo
Suiza	10.87	2,1	0,25	0,62	2,0
Austria	87/88	2,1	0,25	0,62	2,0
Suecia	Año de modelo 1989	2,1	0,25	0,62	2,0
Noruega	1989	2,1	0,25	0,62	2,0
Finlandia	1990	2,1	0,25	0,62	2,0
Méjico	1993	2,1	0,25	0,62	2,0
Brasil	1.92 1.97	12,0 2,0	1,2 0,3	1,4 0,6	6,0 6,0
Australia	1.86 1.97	8,45 1,89	0,85 0,23	1,75 0,57	1,9 1,9
Canadá	9.87	2,1	0,25	0,62	2,0
Corea del Sur	Año de modelo 1988	2,1	0,25	0,62	2,0

Tabla 3. Valores límite en California para la "Clean Vehicle Fleet"

Clase de emisiones	desde año de modelo	CO g/milla	NMOG[1] g/milla	NO_x g/milla
TELV[2]	1994[6]	3,4	0,125	0,4
LEV[3]	1994[6]	3,4	0,075	0,2
ULEV[4]	1994[6]	1,7	0,04	0,2
ZEV[5]	1998 (2% de la flota)	0	0	0

[1] NMOG: Non Methane Organic Gases (toma en cuenta al potencial productor de ozono de los diferentes hidrocarburos en el gas de escape). [2] TLEV: Transitional Low Emission Vehicle. [3] LEV: Low Emission Vehicle. [4] ULEV: Ultra Low Emission Vehicle. [5] ZEV: Zero Emission Vehicle. [6] El fabricante de vehículos debe alcanzar a partir de 1994 una media de flota NMOG.

Tabla 4. Valores límite en dependencia de la masa de referencia del vehículo (ECE R15-04). Ciclo de ensayos ECE/EG

Masa de referencia del vehículo (kg) min.	máx.	CO g/ensayo	$HC + NO_x$ g/ensayo
	1020	58	19,0
1020	1250	67	20,5
1250	1470	76	22,0
1470	1700	84	23,5
1700	1930	93	25,0
1930	2150	101	26,5
2150		110	28,0

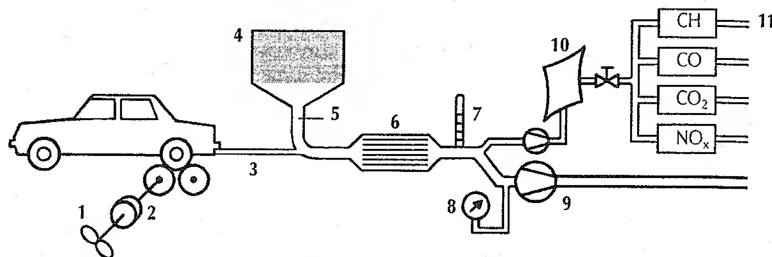
Alemania, Países Bajos, Bélgica, Luxemburgo, Francia, Dinamarca, Gran Bretaña, Irlanda, España, Grecia y Portugal.

Secuencias del ensayo: después del acondicionamiento correspondiente del vehículo (parado 12 horas a temperatura ambiente de 20 a 30 °C) comienza el ensayo en sí con el arranque en frío y un funcionamiento previo de 40 s. El ciclo de tráfico por ciudad se recorre cuatro veces sin pausas; inmediatamente después se recorre una vez el ciclo fuera de la ciudad. Durante este tiempo (sin el funcionamiento previo de 40 s) el gas de escape es recogido en una bolsa según el método CVS. Las masas de productos contaminantes determinadas mediante el análisis del contenido de la bolsa son referidas en el ensayo europeo a la totalidad del recorrido de ensayo e indicadas en g/km. Además los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno son agrupados en un valor límite conjunto ($HC + NO_x$).

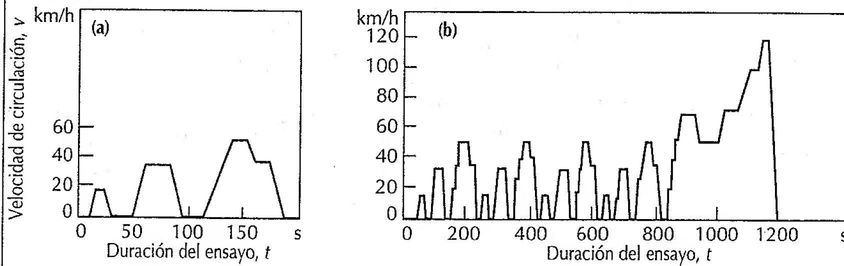
Tabla 5. Valores límite de los gases de escape en la CE. Ciclo de ensayo ECE/EG

Cilindrada del vehículo (l)		Posible fecha de entrada en vigor		Regulación	CO	$HC + NO_x$	NO_x
		Ciclo europeo antiguo de circulación					
mín.	máx.	modelos nuevos	primer permiso de circulación		g/ensayo	g/ensayo	g/ensayo
2,0		1.10.88	1.10.89	88/76EWG	25	6,5	3,5
1,4	2,0	1.10.91	1.10.93	88/76EWG	30	8	–
	1,4	1.10.90	1.10.91	88/76EWG	45	15	6
Todas las clases de cilindrada		**Ciclo europeo nuevo de circulación**			g/km	g/km	
		1.7.92	31.12.92	91/441/EWG Fase 1	2,72	0,97	–
		1.1.96	1.1.97	94/12/EG Fase 2	2,2	0,5	–

Instalación de pruebas para el ensayo europeo *(en este caso con soplante de pistones rotatorios)*
1 *Freno,* **2** *Masas de inercia,* **3** *Gases de escape,* **4** *Filtro de aire,* **5** *Aire de dilución,* **6** *Refrigerador,* **7** *Temperatura del gas,* **8** *Presión,* **9** *Soplante de pistones rotatorios,* **10** *Bolsa colectora (≈ 100l),* **11** *Hacia la salida*



Ciclos de ensayo ECE/EG
(a) *Ciclo antiguo de ensayo.*
Longitud del ciclo: 1,013 km, Número de ciclos/ensayo: 4, Velocidad media: 18,7 km/h, Velocidad máxima: 50 km/h, Proporción de ralentí: 31%
(b) *Ensayo nuevo con proporción de tráfico fuera de ciudad.*
Longitud del ciclo: 11 km, Velocidad media: 32,5 km/h, Velocidad máxima: 120,0 km/h



El ciclo nuevo de ensayos ECE/EG entró en vigor en 1993 con la regulación 91/447/EWG (Fase 1) y reemplazó en los citados países a la norma ECE R 15-04 así como también a la 88/76/EWG.

La norma ECE R 15-04 (tabla 4), la cual prevé los valores límite de contaminantes en función de la masa del vehículo, está todavía en vigor como ECE R 83 en algunos países de la Europa oriental (p.ej. en algunos estados de la C.E.I. y en Turquía) para el uso de gasolina con plomo.

La norma 88/76/EWG (Tabla 5), la cual prevé una subdivisión en clases de cilindradas, todavía es válida para el uso de gasolina sin plomo p.ej. en Polonia y Hungría.

La norma 94/12/EG (fase 2) prevé una mayor limitación de los valores límite en relación con la fase 1 para el mismo ciclo de circulación (tabla 5). La fase 3 de esta norma todavía se está discutiendo y se espera para el año 2000. Aparte de un cambio en el procedimiento del ensayo (determinación de las emisiones en el arranque) y fraccionamiento de las emisiones de HC y de NO_x, se prevé también un valor límite para temperaturas ambiente bajas (–7 °C).

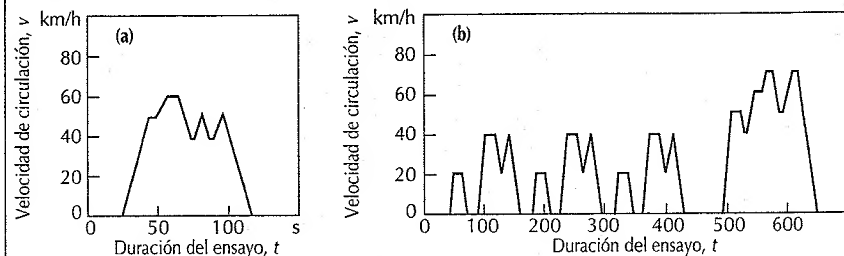
Ciclo japonés de ensayos

El ensayo total consta de dos ciclos con curvas de recorrido distintas y producidas de forma sintética: el ciclo de modo 11 se recorre cuatro veces después del arranque en frío y se evalúan los cuatro ciclos. El ensayo de modo 10 fue ampliado a partir del 1.11.1991 con un ciclo de tráfico fuera de ciudad (modo 15). El transcurso de la prueba comienza con un acondicionamiento previo de 15 minutos a 60 km/h. En la fase de ralentí que sigue se analizan los valores de las concentraciones de HC, CO y CO_2 en el tubo de escape. Luego, después de una marcha constante a 60 km/h durante 5 minutos y una circulación en una sola secuencia del ciclo de modo 15, comienza el ensayo en sí. En él se determinan las emisiones de contaminantes en tres circulaciones a través del ciclo de modo 10 y una circulación a través del ciclo de modo 15. Tanto en el ciclo de ensayo de modo 11 como en el nuevo de modo 10·15 el análisis de los gases de escape se efectúa en una instalación CVS. Los gases de escape son recogidos en su bolsa correspondiente. En el ensayo en

Tabla 6. Valores límite en Japón
Ciclo japonés de ensayo

Procedimiento de ensayo	CO	HC	NO_x	Evaporación
Modo 10·15 (g/km)	2,1	0,25	0,25	–
Modo 11 (g/ensayo)	60,0	7,0	4,4	–
SHED (g/ensayo)	–	–	–	2,0

Ciclo japonés de ensayos
(a) *Ciclo de modo 11 (ensayo en frío)*
Longitud del ciclo: 1,021 km, Número de ciclos/ensayo: 4, Velocidad media: 30,6 km/h, Velocidad máxima: 60 km/h
(b) *Ciclo de 10·15 modos (ensayo en caliente)*
Longitud del ciclo: 4,16 km, Número de ciclos / ensayo: 1, Velocidad media: 22,7 km/h, Velocidad máxima: 70 km/h



frío los contaminantes son indicados en g/ensayo, mientras que en el ensayo en caliente son referidos a la longitud del recorrido, es decir calculados para g/km (tabla 6). En Japón las normas sobre gases de escape incluyen una limitación de las pérdidas por evaporación, que se determinan según el método SHED.

Aparatos de medición de los gases de escape

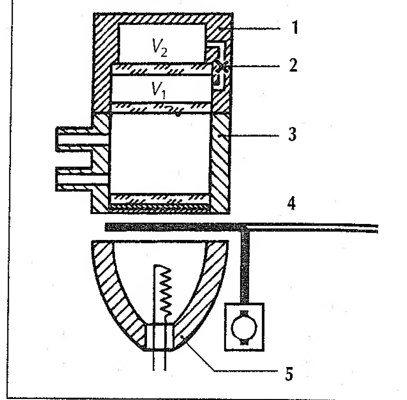
El legislador ha incorporado la comprobación de los gases de escape también para los vehículos en circulación.

En los talleres de automóviles existen aparatos de medición de los gases de escape que son imprescindibles para la graduación óptima de la preparación de la mezcla y de ayuda para la localización de averías del motor.

Procedimientos de medición

Para la medición de los gases de escape en los talleres se ha impuesto finalmente sólo el procedimiento por infrarrojos.

Se basa en el principio de que la luz infrarroja es absorbida fuertemente por determinados componentes de los gases de escape y además a una longitud de onda característica del componente en particular. Según tipos, existen aparatos contrastables para un componente (por ejemplo, CO) o para varios componentes (para CO/CH, CO/CO_2, $CO/CH/CO_2$, etc.)



Cámara de medición por el método infrarrojo *(principio)*
1 Cámara de recepción con los volúmenes de compensación V_1 y V_2, 2 Medidor de caudal, 3 Cubeta de medición, 4 Disco interruptor rotatorio con motor, 5 Radiador infrarrojo

Cámara de medición

Un radiador caliente, aproximadamente a 700 °C, irradia rayos infrarrojos que atraviesan una cubeta de medición y penetran en una cámara de recepción, en la cual se encuentra encerrado un gas con una proporción de CO definida. Con ello se absorberá allí una parte de la radiación específica de CO. Esta absorción provoca una elevación de la temperatura del gas, la que a su vez tiene como consecuencia el paso de gas a través de un medidor de caudal, al segundo volumen compensador V_2. Puesto que la radiación es interrumpida rítmicamente por un disco interruptor rotatorio, se origina una circulación básica alterna entre ambos volúmenes V_1 y V_2. El medidor de caudal convierte esta circulación en señal eléctrica alterna. Cuando se mide un gas con proporciones variables de CO, al pasar por la cubeta de medición absorbe una parte de la energía de la radiación, según la proporción que tenga de CO, que resulta perdida para la cámara de recepción. Como consecuencia de ello disminuye la circulación de base en la cámara de recepción. De este modo la variación de la señal de base alterna es una medida del contenido de CO en el gas medido.

Comprobación del catalizador

En vehículos con catalizador regulado puede efectuarse la comprobación directa de su funcionamiento con la ayuda de un "componente guía". Por lógica se emplea para ello CO, que después del catalizador no debe sobrepasar una proporción del 0,3% en volumen. Sin embargo es premisa que lambda se sitúe exactamente en 1,00 (± 0,01). Lambda se puede determinar con la ayuda de la composición de los gases de escape a la salida del tubo de escape. El aparato comprobador de los gases de escape calcula lambda por las proporciones de los componentes de los gases de escape CO, HC, CO_2 y O_2 y unas constantes para NO y para la composición del combustible HC_V. El contenido de O_2 se mide por otra parte con una sonda electroquímica.

Instalaciones de autogás

Autogás

Autogás, como mezcla de propano y butano, es líquido a una presión de 2 a 20 bar (dependiendo de la relación propano/butano y de la temperatura) y por ello se llama también gas licuado (véase también el capítulo "Combustibles". p.232).

A comienzos de los años 90 se utilizaron en todo el mundo un total de 8,2 millones de toneladas de autogás (de ellas 2,5 millones en Europa) para funcionamiento de motores de combustión. Estos consumos se multiplicarán en el caso que se consiga utilizar el gas ligado al petróleo. Los impuestos que gravan el aceite mineral son decisivos en la rentabilidad del autogás.

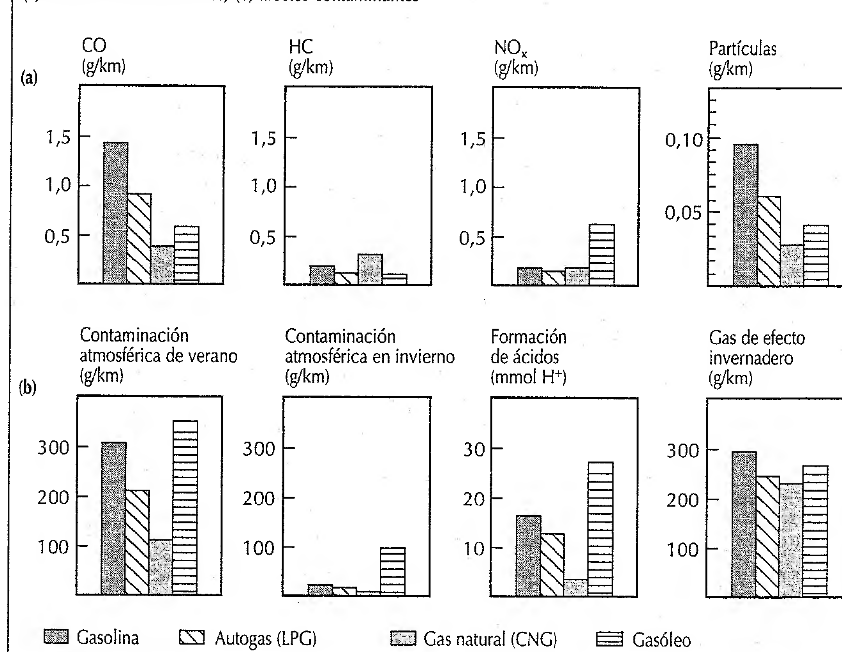
El gas natural como combustible

Las reservas de gas natural, mucho menos aprovechadas que el petróleo, hacen que el gas natural sea interesante para el accionamiento de vehículos. La estructura de las instalaciones de gas natural y los valores de las emisiones son casi iguales que para la mezcla de propano/butano denominada autogás (ver figuras). El gas natural se transporta a alta presión (160 a 200 bar) o en depósito refrigerado (–160 °C) con el gas en estado líquido.

En principio las instalaciones de gas natural y de autogás se diferencian solamente en la forma de llevarlo en el vehículo; el resto de las instalaciones se diferencia sólo muy poco.

Funcionamiento con autogás

En todos los vehículos con motor de combustión es posible el cambio a funcionamiento con autogás. Mayormente se equipan para el funcionamiento bivalente los motores Otto (con gasolina o autogás). Los taxis y autocares con instalaciones para autogás son en su mayor parte para funcionamiento monovalente (sólo con autogás); en vehículos tractores agrícolas esto está prescrito. En la transformación de motores de inyección hay que tener en cuenta que estos motores, cuando funcio-



Emisiones y efectos contaminantes en funcionamiento con gasolina, autogás, gas natural y gasoil
Valores determinados en Europa para cinco vehículos con motores Otto y cinco con motores diesel, calidad 1993
(a) Emisiones contaminantes, (b) Efectos contaminantes

nan con autogás, lo hacen como motores de aspiración (mayor consumo de combustible frente a gasolina, aprox. 25 a 30%; en motores de carburador un 20 a 25%).

Emisiones contaminantes

Puesto que el autogás forma una mezcla especialmente buena con el aire, la emisión de productos contaminantes (incluido el CO_2 y otros componentes no reglamentados, como los hidrocarburos policíclicos aromáticos) es claramente inferior que en el funcionamiento con gasolina y también en comparación con los motores de inyección y catalizador regulado de tres vías. El autogás carece de compuestos de plomo y azufre y posee excelentes cualidades en la combustión, excelente formación y distribución de la mezcla, lo cual a temperaturas bajas se nota aún más.

Ventajas

– Muy rentable para conductores que conducen mucho ya que es una energía de accionamiento poco empleada en otros sectores.

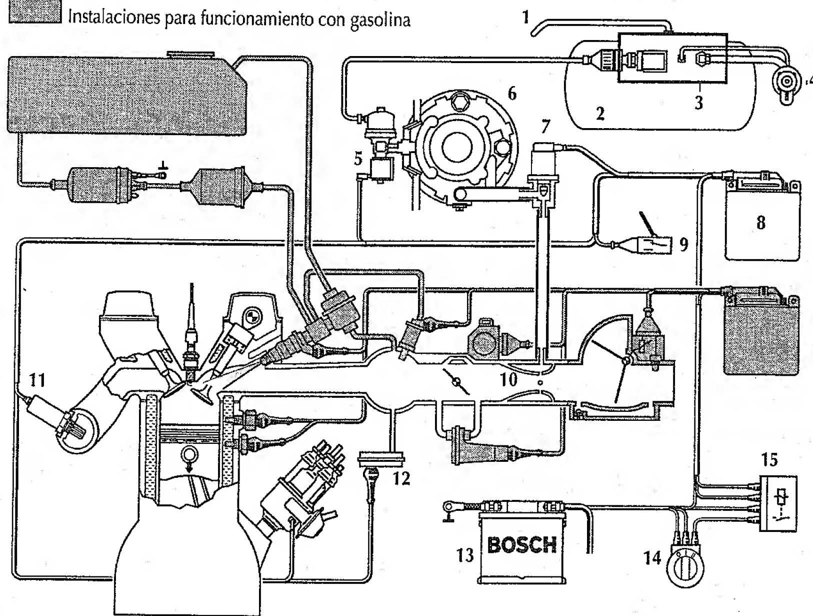
– Las emisiones contaminantes son mucho menores que con la gasolina o el gásoleo si se utiliza una tecnología equivalente como la regulación electrónica u otras.

Desventajas

– En comparación con la gasolina menos autonomía y un consumo volumétrico mayor (no hay mayor consumo de energía en comparación con gasolina, consumo energético menor con motor diesel).

– Hay que tener en cuenta las normas de seguridad, porque el autogás está bajo presión.

– Mayor necesidad de espacio para un depósito de presión redondo cilíndrico, puesto que la cantidad de llenado sólo ocupa el 80% del contenido de volumen (la parte restante se necesita como cámara de expansión).



Esquema de una instalación para autogás (principio con carburador)

1 Atmosférico de los accesorios del depósito, 2 Depósito de autogás, 3 Armazón con válvulas, 4 Válvula exterior de llenado con dispositivo de paro de llenado al 80%, 5 Válvula de cierre de gas, 6 Regulador de presión para el evaporador, 7 Motor de ajuste para la regulación del gas, 8 Dispositivo de mando, 9 Conmutador gas/gasolina, 10 Dispositivo de mezcla Venturi, 11 Sonda lambda, 12 Sensor de depresión, 13 Batería, 14 Conmutador de encendido/arranque, 15 Relé

Instalación de autogás

Después del montaje de una instalación de autogás el vehículo debe ser homologado oficialmente. En Alemania son determinantes las "Directivas para la comprobación de vehículos, cuyo motor es accionado con gases licuados", dictadas por el ministerio federal de tránsito.

– Una instalación moderna de autogás consta de los siguientes componentes:
– depósito de autogas,
– válvula exterior de llenado con dispositivo de paro al 80% del volumen,
– válvula de cierre de gas,
– Regulador de presión para el evaporador (con sistema de refrigeración),
– Mezclador Venturi/tobera de inyección,
– Dispositivo electrónico de mando,
– Motor de ajuste para la regulación del gas,
– Conmutador gasolina/gas.

Del depósito de autogás el gas llega al regulador de presión del evaporador, que vaporiza el gas líquido y reduce su presión. El dispositivo de mando electrónico procesa las señales de la sonda lambda y del sensor de depresión y regula con un motor de ajuste la admisión de gas para el mezclador Venturi.

Al desconectar el encendido la válvula de cierre corta la alimentación de gas. El conmutador de gasolina/gas montado en el panel de instrumentos permite escoger entre funcionamiento a gasolina o a gas.

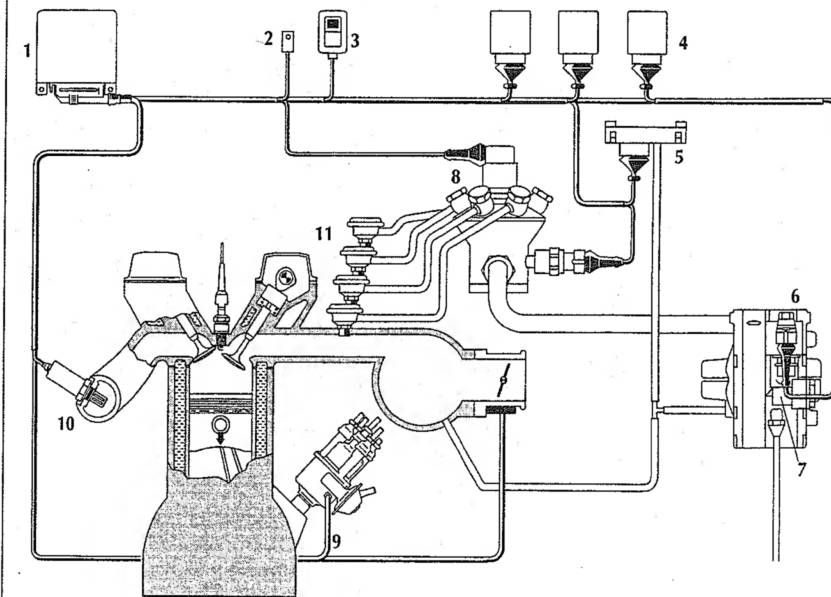
Depósito de autogás

Los depósitos de autogás, como recipientes de gases a presión, se someten a las regulaciones técnicas de los gases a presión y salen ya de fábrica homologados y con su certificado individual de comprobación.

Están equipados con una válvula exterior de llenado (con dispositivo de paro al 80% de llenado) y una válvula electromagnética de toma de gas. La capacidad del depósito para automóviles está entre 40 y 128 l.

Esquema de una instalación de autogás (principio de inyección)

1 Dispositivo de mando, 2 Enchufe de diagnóstico, 3 Conmutador de cambio de combustible, 4 Relé, 5 Sensor de presión de la admisión de aire, 6 Regulador de presión para el evaporador, 7 Válvula de cierre de gas, 8 Distribuidor con accionamiento del motor a pasos, 9 Señal de número de revoluciones, 10 Sonda lambda, 11 Tobera de inyección de gas



Accionamiento con alcohol de motores Otto

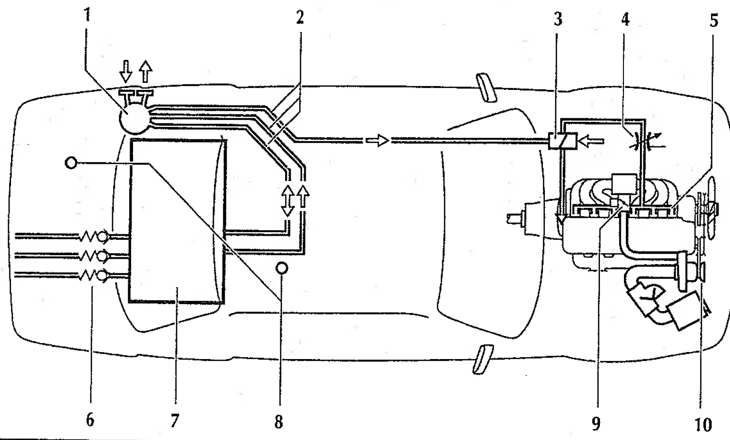
La disponibilidad limitada de los combustibles fósiles fomenta crecientemente el desarrollo de motores y sistemas de inyección de alcoholes tales como el etanol y el metanol como combustibles alternativos ("Carburantes alternativos", pág. 240). Debido a su disponibilidad, el accionamiento con etanol se hace casi exclusivamente en Brasil. El accionamiento con metanol crecientemente reivindicado en EE.UU. (en especial en California) ofrece además conveniencias en los gases de escape: menos emisiones de NO_x y de CO_2 así como también menos formación de ozono y "smog".

Puesto que no puede garantizarse un suministro ininterrumpido con carburantes de metanol, los motores y los dispositivos de mando tienen que estar concebidos para un funcionamiento flexible de mezclas (desde gasolina pura hasta la mezcla con un máximo de 85% de metanol). El alcohol impone unas exigencias especiales críticas en los motores y los elementos conductores de carburante, porque en parte los componentes ácidos, acuosos y otros del carburante ponen en peligro a los materiales metálicos, plásticos así como también de goma. Los motores concebidos para metanol puro tienen una relación de compresión claramente superior, debido a la mayor resistencia al picado del metanol, y con ello un rendimiento mejor que los motores de gasolina. A causa del reducido poder calorífico el consumo de combustible es casi el doble, lo cual condiciona un aumento del volumen del depósito, del caudal transportado de carburante y la adaptación de las válvulas de inyección.

Las sondas lambda apropiadas permiten la purificación óptima de los gases de escape trabajando con catalizador. Los lubricantes especiales se comportan estables a largo plazo a pesar de la agresividad del metanol y de sus productos de combustión.

El mando previo de la mezcla de carburante se efectúa con la ayuda de un sensor de carburante, el cual, según sea la proporción de metanol, manda una señal definida al dispositivo de mando. Unos programas apropiados efectúan las correcciones necesarias en la mezcla y en el encendido para el correspondiente estado de funcionamiento del motor.

Automóvil con motor Otto accionado por hidrógeno *(ejemplo BMW 735i)*
LH_2 Hidrógeno líquido, GH_2 Hidrógeno gaseoso. **1** *Bloque de válvulas para carga del depósito con LH_2 y toma de GH_2 (aislado al vacío),* **2** *Conducciones de hidrógeno, aisladas al vacío,* **3** *Evaporador de LH_2,* **4** *Válvula de dosificación para el mando de la potencia, con regulación electrónica,* **5** *Toberas de insuflación de hidrógeno,* **6** *Válvulas de rebose y de seguridad,* **7** *Depósito de hidrógeno líquido con superaislamiento de vacío,* **8** *Sensores de hidrógeno para la vigilancia automática de fugas,* **9** *Válvula de estrangulamiento para funcionamiento con gasolina con mando electrónico,* **10** *Cargador centrífugo mecánico (MKL) con variador de revoluciones*



Accionamiento con hidrógeno de motores Otto

La disponibilidad limitada de los portadores fósiles de energía así como también la problemática del CO_2 hacen que el hidrógeno se vuelva cada vez más interesante como carburante para automóviles. La obtención de hidrógeno, las infraestructuras requeridas y la tecnología para repostar son costosas, pero ya se vislumbran soluciones técnicamente razonables. La obtención de hidrógeno por electrólisis presupone cantidades suficientes de energía eléctrica en forma de energía solar o atómica.

Almacenamiento de hidrógeno en el vehículo

Almacenamiento gaseoso en depósitos de presión
El almacenamiento gaseoso requiere altas presiones (300 bar). Esto condiciona un alto peso y supone riesgos de seguridad.

Almacenamiento líquido (depósito criogénico)
El almacenamiento líquido es la forma actual más favorable respecto a peso y densidad energética (alcance actual aprox. 300 km). La temperatura extremadamente baja (–253 °C) pone altas exigencias al aislamiento térmico. Debido al calor residual se escapa hidrógeno a través de las válvulas de seguridad y causa así en el vehículo parado unas pérdidas de un 2% diario. Durante el funcionamiento un evaporador eléctrico regula la presión del depósito a su valor predeterminado.

Almacenamiento con hidruros metálicos
Un polvo metálico absorbe hidrógeno y se forman hidruros. Este proceso es exotérmico, es decir que al repostar hay que expulsar calor. El almacenamiento se efectúa sin pérdidas. Frente a las desventajas de una reducida densidad energética (alcance 120 km) y altos costes de materiales están las ventajas de una tecnología de seguridad fácilmente dominable.

Almacenamiento con metil-ciclohexano
En este tipo de almacenamiento se deshidrata el enlace metil-ciclohexano, rico en hidrógeno, a una temperatura de 500 °C mediante un catalizador. Como productos finales se forman hidrógeno y tolueno regenerable.

Formación de la mezcla

En todas las formas de almacenamiento, hasta ahora, se insufla hidrógeno gaseoso al tubo de aspiración. La insuflación directa de hidrógeno tan frío en la cámara de combustión presenta una serie de ventajas (mayor potencia por mejor llenado, menores emisiones de NO_x debido a la refrigeración de la mezcla, ausencia de peligro de retroceso de encendido), pero a causa de la poca vida de las válvulas de insuflación no podrá realizarse en un plazo previsible.

En la formación exterior de la mezcla actualmente se efectúa una insuflación constante, en la cual una válvula de dosificación central, accionada eléctricamente, y un distribuidor de hidrógeno aportan el hidrógeno vaporizado a los tubos de aspiración.

La mezcla pobre o la inyección adicional de agua evitan los retrocesos de encendido hacia el tubo de aspiración. En funcionamiento pobre se puede compensar parte de la pérdida de potencia mediante una recarga.

Actualmente está en desarrollo la inyección de hidrógeno intermitente y secuencial, que reduce también en las mezclas ricas el peligro de retroceso de encendido mediante la libre determinación del punto de encendido. Las exigencias a la válvula de insuflación así como también a la electrónica correspondiente son muy altas en cuanto a exactitud y tiempos cortos de abertura de las válvulas.

Gases de escape

En la oxidación del hidrógeno puro (H_2) por la combustión se genera agua (H_2O). No se produce CO_2 como producto de la combustión. Así el H_2 es el único carburante con el cual se evita toda emisión de CO_2, si en su obtención no intervienen portadores de energía primarios fósiles. A este respecto la única alternativa la ofrece el accionamiento eléctrico. Los futuros valores límite de las emisiones de NO_x se cumplirán con un funcionamiento pobre y una purificación catalítica aún por desarrollar.

Regulación de motores diesel

Dosificación de combustible

Exigencias

Para obtener una buena preparación de la mezcla una bomba de inyección debe inyectar el carburante diesel, según sea el procedimiento de combustión, a una presión entre 350 y 1600 bar y dosificado con máxima exactitud en cada inyección. El compromiso óptimo entre consumo de combustible, emisiones y ruido (marcha ruidosa) del motor diesel exige la exactitud del comienzo de la inyección a aprox. ± 1° de ángulo de cigüeñal.

Para la regulación del comienzo de la inyección y compensación del tiempo de recorrido de la onda de presión en la tubería de inyección se emplea un variador de inyección, que desplaza el comienzo del transporte de la bomba de inyección en instalaciones EDC en función del número de revoluciones, carga y temperatura del motor. En la regulación mecánica la puede regular en función del número de revoluciones un mecanismo de avance de la inyección. Mediante un canto de mando en la parte superior del pistón elemental puede regularse en función de la carga.

La regulación de la carga y del número de revoluciones del motor diesel se efectúa por la cantidad de carburante sin estrangulamiento del aire aspirado. Con suficiente cantidad de inyección el número de revoluciones de un motor diesel puede aumentar hasta la autodestrucción. Por tal motivo es necesario un regulador del número de revoluciones para limitar dicho número. También se puede obtener un número estable de revoluciones al ralentí solamente con una regulación.

Proceso de inyección

A presión elevada y en el breve tiempo de transporte, el combustible ya no se comporta de modo incompresible. Los procesos de la inyección no discurren pues estáticamente según leyes geométricas de compresión, sino dinámicamente y en elevada proporción según leyes acústicas. El émbolo de la bomba de la instalación de inyección se mueve de abajo arriba. Después de la carrera de impulsión cierra el orificio de descarga y empieza a comprimir el combustible en el sistema de inyección.

La presión creciente abre la válvula de presión y una onda de presión discurre hacia el inyector a la velocidad del sonido (aprox. 1400 m/s). Al alcanzar la presión de abertura del inyector, se levanta de su asiento el agujero del inyector del combustible hacia la cámara de combustión del motor. El transporte termina cuando el borde inferior de regulación del émbolo vuelve a descubrir el orificio de descarga. Entonces desaparece la presión en la bomba. La bajada de presión a la "presión base" entre dos inyecciones está calculada de modo que:

- El inyector cierra rápidamente y sin gotear.
- Las vibraciones remanentes en la tubería del sistema, sean amortiguadas de tal forma que por un lado las puntas de presión no puedan causar una segunda apertura de las toberas y por otro lado las "ondas de depresión" no puedan causar daños por cavitación.

Instalación de inyección

La instalación de inyección tiene la misión de suministrar el combustible al motor diesel. En la parte de presión baja de una instalación de inyección se encuentran el depósito de combustible, el filtro de combustible, la bomba de transporte y la válvula de rebose, así como también las conducciones de combustible. En la parte de presión alta de la bomba de inyección se produce la presión necesaria para la inyección. En esto el carburante se transporta a través de la válvula de presión, la conducción de presión y el portainyector a la tobera de inyección.

Bomba de inyección

Con la tecnología actual se emplean para motores diesel de automóvil principalmente los siguientes sistemas de inyección a alta presión:

Bomba de inyección en línea con regulador mecánico del número de revoluciones o con elemento de ajuste electrónico y según el caso con regulador de inyección incorporado. En la bomba de inyección en línea (empleada especialmente para motores de vehículos industriales) se acciona un elemento de bomba para cada cilindro del motor por medio de un árbol de levas.

Al grupo de las bombas de inyección en línea pertenece también la bomba de inyección en línea de leva oscilante, en la cual aparte de regular la cantidad de transporte se puede variar también el comienzo de la inyección.

- Bomba de inyección distribuidora con regulador mecánico del número de revoluciones o regulador electrónico y variador de inyección integrado.

En la bomba distribuidora de inyección de émbolos axiales (empleada principalmente en los motores IDI de automóviles y de vehículos industriales pequeños) un émbolo central, accionado por un disco de leva, se encarga de producir la presión y distribuirla en los diferentes cilindros. Una leva oscilante o una válvula magnética se encargan de la dosificación de la cantidad inyectada.

En la bomba distribuidora de inyección de émbolos radiales (utilizada especialmente en motores rápidos modernos diesel de inyección directa para automóviles y vehículos industriales menores) de dos a cuatro émbolos radiales, accionados por una leva anular, se encargan de la producción de la presión y del transporte. Una válvula magnética dosifica la cantidad de inyección y regula el comienzo de la inyección.

Las piezas de ambos sistemas se fabrican con extrema precisión, con tolerancias muy pequeñas para el mando y regulación exactos de las cantidades y del comienzo de la inyección, escasas variaciones entre los cilindros y una larga vida útil.

Aparte de las bombas de inyección distribuidoras y en línea, las bombas de inyección accionadas directamente por el cigüeñal del motor son en su mayoría de un solo cilindro (preferentemente en grandes motores de barcos, maquinaria de construcción y motores pequeños).

Un ulterior sistema de inyección es la unidad bomba/inyector en la cual la bomba y el inyector forman una sola unidad. Por cada cilindro del motor se incorpora una de estas unidades en la culata, accionada por una biela o indirectamente por medio de un balancín movido por el árbol de levas del motor.

El sistema bomba/conducción/inyector trabaja según el mismo procedimiento que la unidad bomba/inyector. Sin embargo, la corta conducción de alta presión entre la bomba y el inyector proporciona más espacio para el montaje del árbol de levas en el bloque del motor o en la culata.

En la inyección de acumulador "Common Rail" la producción de la presión y la inyección no están acopladas. La presión de inyección se genera con independencia del número de revoluciones del motor y de la cantidad de inyección.

Filtro del carburante

La calidad del filtro del carburante y el cumplimiento de los intervalos de manutención determinan fundamentalmente la vida útil de la instalación de inyección diesel.

El corazón del filtro, el cartucho filtrante, es de papel (raras veces de fieltro) especial hidrófobo, enrollado como una bolsa en forma de espiral, para ofrecer en un espacio dado la máxima superficie de filtrado posible y alcanzar así una larga vida útil con gran capacidad de almacenamiento de impurezas.

El grado de retención depende principalmente de la porosidad del papel, de su peso y del tipo de fibras empleado. De acuerdo con las necesidades los filtros para bombas de inyección distribuidoras tienen un tamaño medio de poros de 4 a 5 μm y para todos los otros tipos de bombas de inyección de 8 a 10 μm.

Los filtros para bombas de inyección diesel en línea, dentro de la conducción (solamente bombas de inyección distribuidoras) o en caja (con tapa y cartucho recambiable atornillado).

Las tapas de filtro pueden ser de diferentes modelos, incluyendo una bomba manual integrada, que facilita el nuevo arranque después de un servicio de manutención del filtro o después haberse conducido vaciando el depósito.

Al acabarse el intervalo prescrito de cambio (> 30000 km) se procede al cambio del filtro en línea dentro de conducción completo o del cartucho recambiable.

Los filtros para bombas de inyección distribuidoras poseen un compartimiento de recogida de agua. El agua contenida en el carburante se acumula en la parte sucia

del papel del filtro y pasa en grandes gotas al lado limpio del papel (efecto de coalecencia). El nivel máximo admitido de agua se reconoce por un sensor. Para vaciar el agua se abre un tornillo de purga.

La incorporación de calefacción eléctrica en el filtro evita que se obture por segregaciones de parafina a temperatura fría.

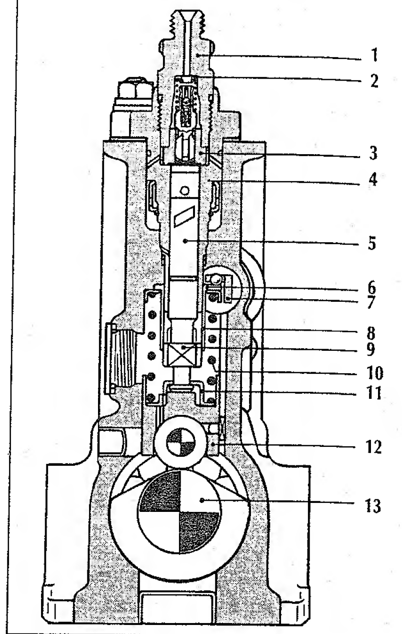
Bomba de inyección en línea (PE)

Bomba de transporte

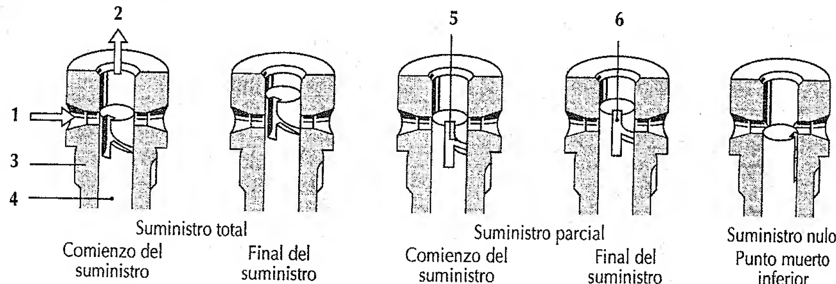
Una bomba de transporte de émbolos transporta el carburante a la cámara de aspiración de la bomba de inyección con una sobrepresión de 1 a 2,5 bar. El émbolo de la bomba accionado por una leva es conducido al punto muerto superior en cada carrera. No es solidario con el elemento de accionamiento, sino que retrocede por la presión de un muelle. Esta carrera hacia atrás es la de transporte en sí. Si aumenta la presión en la conducción de transporte, entonces el muelle mueve el émbolo solamente en una parte de la carrera hacia atrás. Cuanto más aumenta la presión en la conducción de transporte, tanto menor se hace la cantidad transportada.

Bomba de alta presión

Todas las bombas de inyección en línea poseen para cada cilindro un elemento de bombeo, que consta de cilindro y émbolo. El émbolo es movido en la dirección de transporte por un árbol de levas accionado por el motor y presionado hacia atrás por el muelle del émbolo. El émbolo está ajustado tan exactamente (juego de 3 a 5 μm), que trabaja prácticamente sin fugas incluso a altas presiones y números bajos de revoluciones.



Bomba de inyección en línea tamaño P
1 Casquillo roscado de empalme, 2 Pieza de relleno, 3 Válvula de presión, 4 Platina, 5 Émbolo de la bomba, 6 Brazo de palanca con cabeza esférica, 7 Varilla de regulación, 8 Casquillo de regulación, 9 Talón del émbolo, 10 Muelle del émbolo, 11 Plato del muelle, 12 Impulsor de rodillo, 13 Árbol de levas



Regulación de la cantidad de transporte en la bomba de inyección en línea
1 Procedente de la cámara de aspiración, 2 Hacia el inyector, 3 Cilindro, 4 Émbolo, 5 Canto inferior de mando (canto rasgado), 6 Ranura longitudinal

La carrera del émbolo no se puede variar. Mediante la modificación de la carrera útil se varía la cantidad transportada. Para esta finalidad se han incorporado en el émbolo unos cantos inclinados de mando, que definen la carrera útil según sea la posición de giro del émbolo deseada. El transporte comienza cuando el canto superior del émbolo cierra la abertura de aspiración. La cámara de presión encima del émbolo está comunicada a través de una ranura con la que queda debajo del émbolo. Por ello el transporte se termina cuando el canto de mando libera la abertura de aspiración.

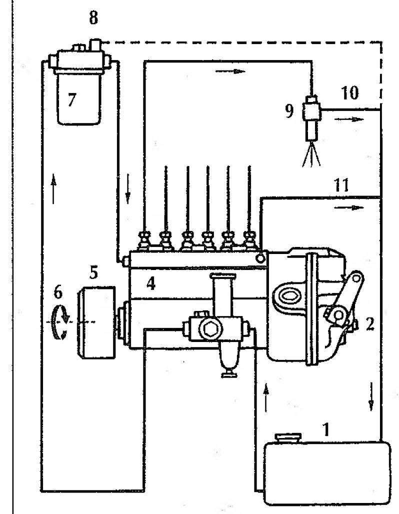
Los cantos de mando de los émbolos de bombeo pueden estar dispuestos de manera diferente. En elementos con solamente un canto inclinado debajo, el transporte comienza siempre con la misma carrera del émbolo, pero termina, según sea su posición de giro, antes o después. Con un canto inclinado en la parte superior se puede variar el comienzo del transporte. A parte de estos también existen elementos con cantos inclinados arriba y abajo.

Los principales modelos de válvulas de presión en orden de posibilidad de utilización y a presiones crecientes de inyección son:

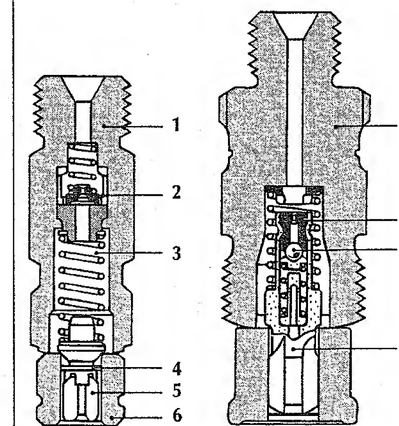
- válvula de cámara de volumen constante,
- válvula de cámara de volumen constante con estrangulamiento de retroceso,
- válvula de presión constante.

Las válvulas de presión hay que proyectarlas con esmero para cada aplicación según su descarga. En el estrangulamiento de retroceso o en la válvula de presión constante un estrangulamiento adicional amortigua la onda de transporte parcialmente reflejada en la tobera de inyección y evita así una segunda abertura de la tobera de inyección. La válvula de presión constante se utiliza para sistemas de inyección de alta presión y en motores rápidos pequeños de inyección directa, para conseguir una hidráulica estable.

En bombas de inyección para presiones medias hasta 600 bar (p.ej. tamaños M, A) el elemento de bombeo está integrado en posición fija dentro del cuerpo de la bomba encima de la válvula de presión en el soporte esta.



Instalación de inyección con bomba de inyección en línea regulada mecánicamente
1 Depósito de combustible, 2 Regulador de revoluciones, 3 Bomba de transporte, 4 Bomba de inyección, 5 Regulador de inyección, 6 Accionamiento desde el motor, 7 Filtro de carburante, 8 Purga de aire, 9 Portainyector con inyector, 10 Conducto de retorno de combustible, 11 Conducto de rebose

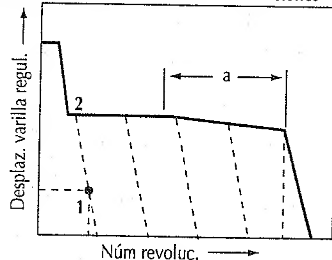


Soporte de válvula de presión con válvula de presión
(a) Válvula de volumen constante y estrangulamiento de retroceso, (b) Con válvula de presión constante.
1 Soporte de válvula de presión, 2 Estrangulamiento de retroceso, 3 Volumen muerto, 4 Émbolo de descarga, 5 Cono de válvula, 6 Portaválvula, 7 Válvula de avance, 8 Orificio de estrangulamiento, 9 Válvula de mantenimiento de presión

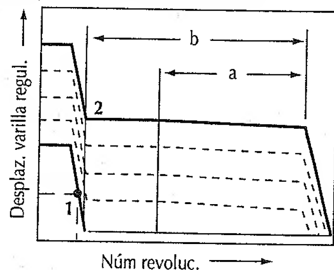
Regulador del número de revoluciones-Diagramas característicos

(a) *Igualación positiva en el campo de número de revoluciones superior,* (b) *Zona no regulada,* (c) *Igualación negativa*
1 *Punto de regulación para la marcha en vacío,* 2 *Línea de plena carga,* 3 *Línea de plena carga con motor turbo,* 4 *Línea de plena carga con motor de aspiración,* 5 *Línea de plena caga con motor de aspiración con compensación de la altura,* 6 *Regulación intermedia del número de revoluciones,* 7 *Cantidad para la puesta en marcha, dependiente de la temperatura*

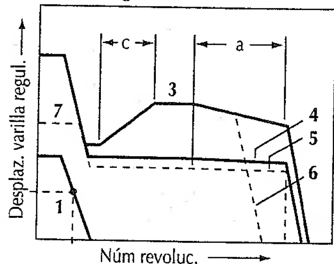
Reguladores de todo el número de revoluciones



Regulador del número de revoluciones para marcha en vacío y número de revoluciones final



Regulador complejo del númeo de revoluciones con otras funciones de regulación adicionales



Para presiones superiores a 600 bar el elemento de bombeo, la válvula de presión y el soporte de la válvula de presión están unidos por tornillos formando un conjunto.

Así las grandes fuerzas de estanqueidad ya no deben ser absorbidas por el cuerpo de la bomba (p.ej. tamaños MW, P).

La bomba de inyección en línea y el regulador de revoluciones integrado están conectados al circuito de lubricación por aceite del motor.

Regulación del número de revoluciones

El regulador tiene como misión principal la limitación del número máximo de revoluciones, es decir que debe procurar que el motor diesel no supere el límite admitido por el fabricante. Otras misiones son, según sea el tipo de regulador, el mantener constante determinados números de revoluciones como p.ej. el ralentí o dentro de un intervalo definido entre ralentí y valor máximo. Otras misiones son p.ej. la variación de la cantidad a carga plena (adaptación) dependiente del número de revoluciones, de la presión de alimentación, de la presión atmosférica o la dosificación de la cantidad de carburante necesaria en el arranque. Para estas misiones el regulador sitúa el vástago de regulación en la posición correspondiente y con ello regula la cantidad transportada.

Reguladores mecánicos de revoluciones

El árbol de levas de la bomba de inyección acciona el regulador mecánico del número de revoluciones (regulado por fuerza centrífuga) y posibilita los diagramas característicos que se describen a continuación. Las masas centrífugas actúan sobre muelles de regulación que están conectados mediante un varillaje con el vástago de regulación. En funcionamiento estacionario las fuerzas centrífugas y las de muelles están en equilibrio. Con ello el vástago de regulación adopta la posición para suministrar la cantidad correspondiente a la potencia del motor en ese punto de funcionamiento. Si baja el número de revoluciones, p.ej. debido a una mayor carga, entonces también baja la fuerza centrífuga y los muelles de regulación empujan a las masas centrífugas y con ello al vástago de regulación a una posición de mayor transporte de carburante hasta restablecer el estado de equilibrio. De las diferentes misiones resultan los siguientes tipos de reguladores:

Reguladores del intervalo total de revoluciones
Regulan el número de revoluciones del motor de forma casi constante, según sea la posición de la palanca de ajuste. Estos reguladores se utilizan preferentemente para vehículos industriales con accionamientos adicionales para maquinaria de construcción, tractores agrícolas, embarcaciones e instalaciones fijas.

Reguladores de ralentí y revoluciones máximas
El diagrama característico del regulador del ralentí y del número máximo de revoluciones indica que sólo trabaja en dichas dos situaciones. En las posiciones intermedias del intervalo el par de giro viene determinado solamente por la posición del pedal de marcha. Aplicaciones: vehículos de carretera.

Reguladores escalonados de revoluciones
Los reguladores escalonados del número de revoluciones forman combinaciones de los tipos de reguladores descritos anteriormente. Según sea la finalidad de su aplicación, el escalón de variación puede estar situado en el margen superior o inferior de revoluciones.

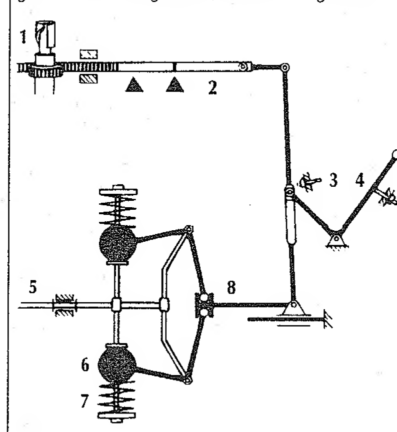
Modelos de reguladores
En los reguladores RQ y RQV las masas centrífugas actúan directamente sobre los muelles de regulación; al accionar la varilla de ajuste, se varía la relación de transmisión en el vástago de regulación.

En los reguladores RSV y RSF el muelle de regulación está fuera de las masas centrífugas; la relación de transmisión en el vástago de regulación permanece casi constante.

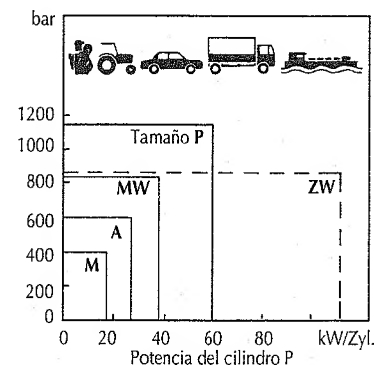
Grado P
Un regulador de revoluciones viene caracterizado por lo general por la pendiente

Regulador RQ para el ralentí y el número máximo de revoluciones

1 *Émbolo de la bomba,* 2 *Vástago de regulación,* 3 *Tope de carga plena,* 4 *Palanca de variación,* 5 *Árbol de levas de la bomba de inyección,* 6 *Masas centrífugas,* 7 *Muelle de regulación,* 8 *bulón de regulación*

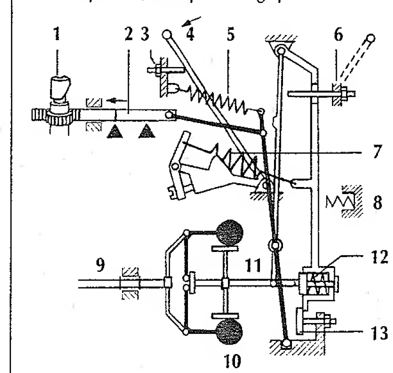


Campos de aplicación de las diferentes bombas de inyección en línea



Regulador RSV del intervalo total de revoluciones

1 *Émbolo de la bomba,* 2 *Vástago de regulación,* 3 *Tope para revoluciones máximas,* 4 *Palanca de variación,* 5 *Muelle de arranque,* 6 *Tope de paro o de ralentí,* 7 *Muelle de regulación,* 8 *Muelle adicional de ralentí,* 9 *Árbol de levas de la bomba de inyección,* 10 *Masas centrífugas,* 11 *Barra de variación,* 12 *Muelle de adaptación,* 13 *tope de carga plena*



de la línea característica de regulación o "grado P":

$$\delta = \frac{n_{LO} - n_{VO}}{n_{VO}} \cdot 100\%$$

Cuanto menor es la diferencia del número de revoluciones entre el número de revoluciones superior a carga nula (n_{LO}) y el número de revoluciones superior a plena carga (n_{VO}), menor es el grado P, es decir, más exactamente mantiene el regulador el número de revoluciones prefijado. En los motores pequeños y de marcha rápida, son usuales valores del 6 al 10% con reguladores del intervalo total de revoluciones y reguladores del número máximo de revoluciones.

Dispositivos mecánicos de ajuste

Dispositivo de asimilación

La demanda de combustible a plena carga adecuada al motor diesel, cuya curva característica desciende ligeramente al aumentar el número de revoluciones, se logra mediante un muelle adicional (muelle de adaptación) en el lugar apropiado del regulador. Al número de revoluciones correspondiente se desvía un poco este muelle y origina el desplazamiento del vástago de regulación en el sentido de menor cantidad (adaptación positiva). También es realizable la adaptación negativa, es decir cantidad en aumento a número creciente de revoluciones, aunque para ello se necesitan muchas más piezas y trabajos de ajuste.

Tope de plena carga en dependencia de la presión de alimentación (LDA)

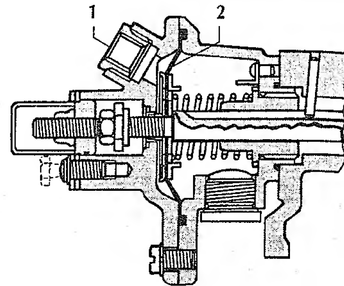
Los motores con sobrealimentación pueden transformar mayor cantidad de combustible en potencia del motor aumentando el par de giro. El LDA sirve para la corrección correspondiente de la cantidad a plena carga. Una membrana cargada con presión de muelle, sobre cuya cara de trabajo se aplica la presión de sobrealimentación, está unida de tal forma con el vástago de regulación, que al aumentar la presión de carga aumenta también la cantidad inyectada.

Tope de plena carga en dependencia de la presión atmosférica (ADA)

El ADA, que es un aparato parecido al LDA, reduce la cantidad a plena carga a presión atmosférica baja y con ello a densidad menor de aire a grandes alturas.

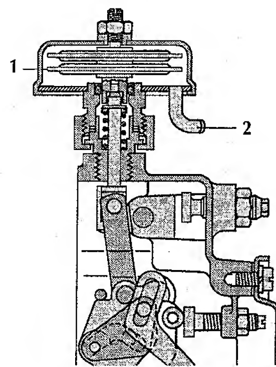
Tope de plena carga en dependencia de la presión de alimentación

1 Conexión de presión de alimentación, 2 Membrana



Tope de plena carga en dependencia de la presión atmosférica

1 Manómetro, 2 Conexión a la presión atmosférica



Contiene una caja barométrica, la cual por medio de las transmisiones correspondientes desplaza al vástago de regulación en el sentido de menor cantidad a partir de determinada altitud geográfica.

Tope de cantidad de arranque en dependencia de la temperatura (TAS)

El motor en frío necesita para arrancar una cantidad determinada adicional de combustible, la cual no es necesaria cuando el motor está caliente y que conduce, según sean las condiciones, a explosiones de humo.

Para remediarlo sirve el TAS, cuyo vástago de regulación lleva un tope que bloquea la cantidad adicional de combustible en el arranque en caliente mediante un elemento de material de dilatación.

Indicador del recorrido de regulación (RWG)

El RWG mide de forma inductiva la posición momentánea del vástago de regulación.

La señal preparada por una conexión de evaluación p.ej. se utiliza para la regulación de cajas de cambio hidráulicas o mecánicas, para la medición del consumo de combustible, para la reconducción de los gases de escape o para el diagnóstico.

Indicador del comienzo de alimentación (FBG)

El FBG, que trabaja de forma inductiva, puede medir el comienzo del transporte de combustible con el motor en marcha; también es posible la comprobación del regulador de inyección.

Además pueden suministrarse para esto bombas de inyección con árbol de levas bloqueado en posición de comienzo de transporte, lo cual permite un montaje sencillo y exacto en el motor.

Regulador de inyección

En las bombas de inyección en línea se utilizan reguladores de inyección controlados por fuerza centrífuga, dispuestos en el tramo entre el motor y la bomba de inyección. Al aumentar el número de revoluciones, las masas centrífugas hacen que gire el árbol de levas de la bomba en el sentido antagónico a la rotación de accionamiento para introducir un avance a la impulsión. Versiones: variadores previos accionados por embrague y reguladores de inyección integrados y accionados por piñones, con un campo de regulación de 3 a 10° en el árbol de la bomba.

Parada

Un dispositivo mecánico (palanca de parada), eléctrico o neumático para el motor diesel interrumpiendo la alimentación de combustible.

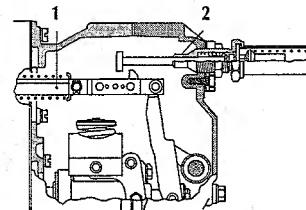
Regulador electrónico

En la regulación electrónica de la bomba de inyección en línea un servomecanismo electrónico con señal de retorno inductiva sin contacto para la posición del vástago de regulación sustituye a la regulación mecánica de masas centrífugas. Un dispositivo de mando electrónico regula al posicionador.

El microprocesador del dispositivo de mando calcula, por la posición del pedal de marcha, el número de revoluciones así como también una serie de magnitudes de corrección en conexión con diagramas característicos almacenados en su memoria, las cantidades teóricas de inyección o la posición teórica del vástago de regulación.

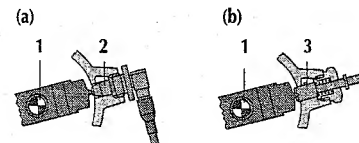
Tope de cantidad de arranque en dependencia de la temperatura

1 Vástago de regulación, 2 Tope de cantidad de arranque con elemento de material de dilatación



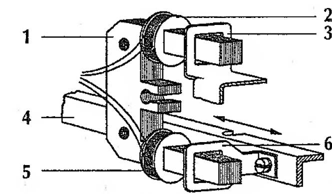
Transmisor del comienzo de transporte

(a) Medición con transmisor, (b) Bloqueo. 1 Árbol de levas de la bomba, 2 Transmisor, 3 Fiador



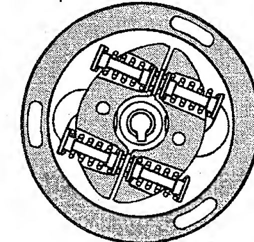
Transmisor del recorrido de regulación

1 Núcleo de chapas de hierro, 2 Bobina de referencia, 3 Anillo de cortocircuito fijo, 4 Vástago de regulación, 5 Bobina de medición, 6 Anillo de cortocircuito móvil



Regulador de inyección

Posición de reposo



Un regulador electrónico que determina la corriente de excitación para un imán posicionador que trabaja en contra de un muelle de retroceso, compara el valor teórico con el valor real de la señal de retorno de la posición del vástago de regulación. En caso de desviaciones varía la corriente de excitación hasta que el vástago de regulación se encuentra en la posición debida.

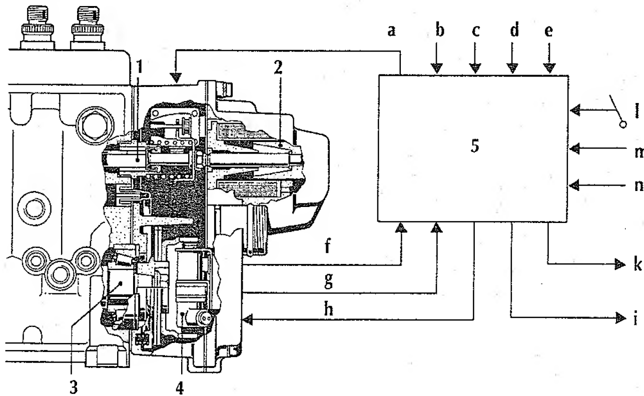
Un sensor inductivo de revoluciones registra un disco dador de impulsos colocado en el árbol de levas. De las distancias entre las señales de impulsos el dispositivo de mando calcula el número de revoluciones del motor.

Mediante la posibilidad de registrar diferentes magnitudes del motor y del vehículo y conectarlas entre sí para determinar las cantidades de inyección, la regulación electrónica ofrece muchas ventajas en comparación con la regulación mecánica:
- arranque/parada con llave,
- posibilidad de determinar libremente la característica de plena carga,
- ajuste exacto de la cantidad máxima de inyección a la presión de alimentación para cumplir el límite de humos,
- correcciones mediante temperatura del aire y del combustible,
- cantidad para el arranque en función de la temperatura,
- para funciones secundarias,
- regulación de la velocidad de crucero,
- limitación de la velocidad máxima,
- número de revoluciones de ralentí bajo y constante,
- amortiguación activa de tirones,
- posibilidades de intervención para regulación de deslizamiento del accionamiento/caja de cambios automática,
- salidas de señales para indicaciones de consumo y de número de revoluciones,
- ayuda al servicio de manutención mediante diagnóstico de fallos integrado.

Bomba de inyección en línea con corredera

La bomba de inyección en línea con corredera posibilita el ajuste electrónico del comienzo del transporte. Una corredera colocada en cada uno de los elementos lleva la abertura convencional de final de regulación. Un árbol de variación con palancas de ajuste, que engranan en las correderas, ajusta a todas ellas conjuntamente.
Según sea la situación de la corredera (arriba o abajo), el transporte (trasiego), en relación con la misma, comienza antes o después. Un posicionador electromagnético, parecido al de la bomba de inyección en línea, hace girar a su vez al árbol de variación, pero sin señal de retorno de la posición.

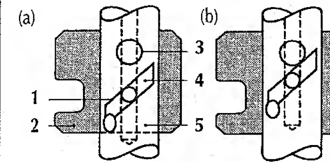
Regulación electrónica para bombas de inyección en corredera
1 *Línea de regulación,* **2** *Posicionador,* **3** *Árbol de levas,* **4** *Sensor del número de revoluciones,* **5** *Dispositivo de mando. Magnitudes de entrada/salida:* **a** *Supresión,* **b** *Presión de carga,* **c** *Velocidad de marcha,* **d** *Temperatura (agua, aire, combustible),* **e** *Intervención de cantidades,* **f** *Número de revoluciones,* **g** *Recorrido de regulación,* **h** *Posición del imán de ajuste,* **i** *Indicación de consumo/revoluciones,* **k** *Diagnóstico,* **l** *Posición del pedal de marcha,* **m** *Predeterminación de la velocidad,* **n** *Embrague, freno, freno de motor*



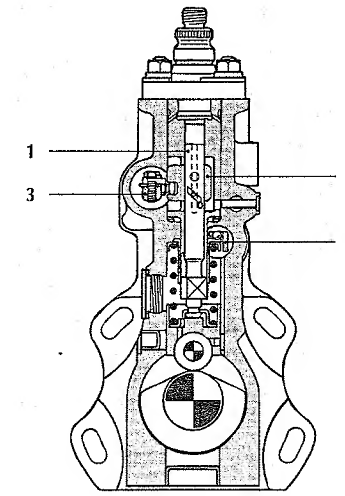
Un sensor de movimiento de aguja (NBF) mide ahora el comienzo de la inyección directamente en un inyector y transmite esta señal a un regulador que la compara con un valor teórico calculado como función del número de revoluciones, cantidad inyectada, etc. y que varía la corriente de excitación de la bobina magnética hasta que los valores teórico y real del comienzo de la inyección son iguales.

Para obtener una información exacta sobre el punto muerto superior y la posición del comienzo de la inyección respecto a él, el sensor del número de revoluciones registra las marcaciones de impulsos en el volante de inercia del cigüeñal.

Elemento de bombeo con corredera
(a) *Comienzo de transporte,* **(b)** *Final de transporte*
1 *Canto de mando,* **2** *Corredera,* **3** *Orificio de final de mando,* **4** *Ranura de mando,* **5** *Émbolo de la bomba*



Bomba de inyección en línea con corredera
1 *Émbolo de la bomba,* **2** *Corredera,* **3** *Árbol de variación de la carrera de la corredera,* **4** *Vástago de regulación*



Bomba rotativa de inyección

El campo de aplicación de la bomba rotativa de inyección está en los motores diesel de 3, 4, 5 y 6 cilindros para automóviles, tractores así como también en vehículos industriales pequeños de potencia hasta 20 kW por cilindro, en función del número de revoluciones y del tipo de combustión. Las bombas rotativas de inyección alcanzan una presión de 700 bar en la cámara de presión alta de la bomba en los motores de inyección directa a un número de revoluciones de 2400 min^{-1}.

Bomba de transporte

La bomba de transporte integrada con células, de paletas, aspira el combustible (si no hay una bomba previa de transporte) y produce , en conexión con una válvula de regulación de presión, una presión en el interior de la bomba que aumenta de forma lineal.

Bomba de alta presión

La bomba rotativa de inyección solamente tiene un elemento de bombeo para todos los cilindros. El émbolo transporta el combustible mediante una carrera y lo distribuye simultáneamente mediante un movimiento giratorio por todas las salidas.

En una vuelta del eje de accionamiento el émbolo efectúa tantas carreras como cilindros tenga que alimentar. El árbol de accionamiento de la bomba rotativa de inyección gira por medio del disco de cruceta, el disco de levas y el émbolo de la bomba firmemente unido mismo.

Las elevaciones de la leva en el lado inferior del disco de levas van rodando sobre los rodillos del anillo de rodillos. Así el disco de levas y el émbolo efectúan junto al movimiento rotatorio otro adicional elevador (distribución y transporte). La bomba transporta mientras la abertura de final de regulación esté cerrada.

El transporte termina cuando la abertura de final de regulación sale de la corredera de regulación. Así la posición de la corredera de regulación determina la carrera útil y la cantidad de inyección. El regulador del número de revoluciones determina a su vez la posición de la corredera de regulación desplazable sobre el émbolo.

Reguladores mecánicos de revoluciones
La corredera de regulación está conectada con la palanca de mando por medio de una rótula. Sobre dicha palanca actúan la fuerza centrífuga de las masas centrífugas y del muelle de regulación. Para el ajuste del número de revoluciones se varía la tensión inicial del muelle mediante la palanca de mando.

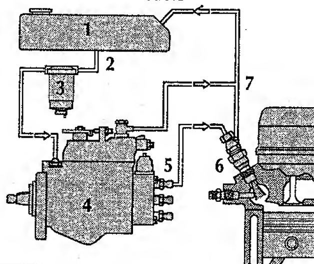
Por medio del tornillo de ajuste a plena carga el conjunto completo de palancas de regulación se puede desplazar, para fijar así la carrera útil máxima. Mediante una disposición adicional de muelles en la transmisión del regulador pueden adaptarse a las necesidades del motor el ralentí y los intervalos de transición.

Grado P, tipos de reguladores
La descripción del grado P y de los tipos de reguladores (reguladores del intervalo total de revoluciones, del ralentí y del número máximo de revoluciones) para bombas de inyección en línea también es válida para los reguladores de bombas rotativas de inyección.

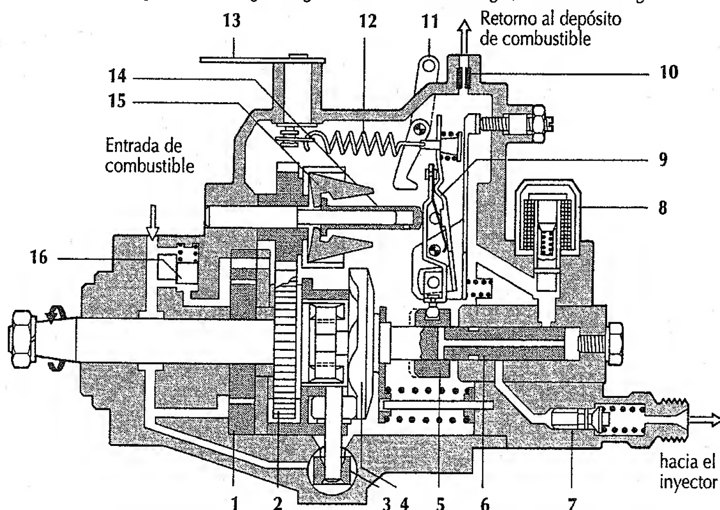
Señal de carga
En las bombas de inyección con regulador de ralentí y número máximo de revoluciones se puede utilizar la posición de la palanca exterior de variación a través de microinterruptores o potenciómetros giratorios como indicadora de la carga.

Dispositivos mecánicos de ajuste
Para el procesamiento de ulteriores parámetros de funcionamiento para la regulación de las cantidades transportadas (p.ej. tope de plena carga en función de la presión de alimentación, adaptación hidráulica y mecánica de plena carga) y para la variación del comienzo del transporte (p.ej. acelerador de arranque en frío, comienzo de transporte en dependencia de la carga) se dispone de una serie de dispositivos de conexión.

Instalación de inyección con bomba de inyección rotatativa
1 Depósito de combustible, 2 Tubería de alimentación de combustible, 3 Filtro de combustible, 4 Bomba rotativa de inyección, 5 Tubería de presión, 6 Inyector, 7 Tubería de retorno de combustible



Ejecución básica de una bomba de inyección distribuidora tipo VE
1 Bomba de alimentación de paletas, 2 Accionamiento del regulador, 3 Variador de avance, 4 Disco de levas, 5 Corredera de regulación, 6 Émbolo distribuidor, 7 Válvula de impulsión, 8 Dispositivo electromagnético de parada, 9 Estrangulamiento de retorno, 10 Conjunto palanca regulación, 11 Dispositivo de parada mecánico, 12 Muelle de regulación, 13 Palanca de control del régimen, 14 Manguito regulador, 15 Masas centrífugas, 16 Válvula de regulación de la presión



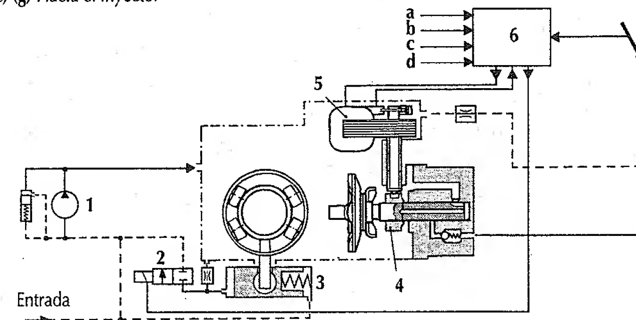
Regulador de inyección con mando hidromecánico
A continuación de la bomba de transporte está conectada una válvula de regulación de presión, la cual aumenta de forma lineal con el número de revoluciones la presión en el interior de la bomba (1,5 a 8 bar). Esta presión proporcional al número de revoluciones actúa sobre un orificio de estrangulamiento en el lado delantero de un émbolo de regulación de la inyección cargado con la presión de un muelle. Así este último gira con el anillo de rodillos, en función del número de revoluciones, en sentido contrario al de giro de la bomba y desplaza el comienzo del transporte en sentido de "avance".

Parada
Un dispositivo de desconexión mecánico (palanca de parada) o eléctrico (válvula magnética) para el motor diesel por interrumpción del suministro de combustible. La desconexión eléctrica es especialmente usual en automóviles.

Regulador electrónico
La corredera de regulación de la bomba VE está unida a un mecanismo posicionador rotativo electromagnético por medio de una rótula dispuesta excéntricamente. Dependiendo de la posición del giro del mecanismo posicionador varía la posición de la corredera de regulación y con ello la carrera útil de la bomba. Conectado con el mecanismo posicionador hay una señalización de la posición (potenciómetro o sensor inductivo). El ordenador del dispositivo de mando recibe de diversos sensores sus señales de entrada, como son la posición del pedal del acelerador, el número de revoluciones del motor, la temperatura del aire, del agua y del combustible, la presión de sobrealimentación, la presión atmosférica, etc. De estas magnitudes de entrada se determina la cantidad correcta de inyección y se transforma en una posición de la corredera de regulación dentro de los diagramas de la memoria del programa. Luego la unidad de control varía la corriente de excitación del posicionador giratorio mientras la señalización no indique que la posición real de la corredera corresponde a la posición nominal.

Regulador de inyección controlado electrónicamente
De la misma forma que la cantidad inyectada se regula por medio de una comparación del valor nominal con el valor real, se puede regular también el inicio de la inyección. Para ello, la señal de un sensor que indica el inicio de la abertura del inyector se compara con un valor nominal programado. Una válvula electromagnética sincronizada contenida en la zona de trabajo del émbolo del regulador de la in-

Regulación electrónica para bombas rotativas de inyección
1 Bomba de transporte, 2 Válvula de electroimán, 3 Regulador de inyección, 4 Corredera de regulación, 5 Posicionador giratorio con señal de retorno, 6 Dispositivo de mando. Magnitudes de entrada y salida: (a) Número de revoluciones, (b) Inicio de inyección, (c) Temperatura, (d) Presión de alimentación, (e) Posición del pedal de marcha, (f) Retorno de combustible, (g) Hacia el inyector



yección, influye en la presión sobre el émbolo y con ello en la posición del variador de avance. La señal de un sensor en el portainyector que avisa del inicio de la inyección, se compara con un valor nominal de la memoria electrónica. La relación movimiento/sincronismo de la válvula electromagnética se va modificando hasta que coincide el valor real con el nominal.
Ventajas de la regulación electrónica:
- mejor regulación de cantidades (consumo de combustible, potencia, emisiones)
- mejor regulación del número de revoluciones (número reducido de revoluciones al ralentí, adaptación de la instalación de climatización, etc.)
- mejores funciones de confort (amortiguación de tirones, regulación de la suavidad de marcha),
- inicio más exacto de la inyección (consumo de combustible, emisiones),
- mejor servicio de manutención (diagnóstico).

Además de esto son posibles otras funciones como la reconducción regulada o dirigida de los gases de escape (ARF), la regulación de la presión de alimentación, la regulación de las bujías de incandescencia, etc. así como también interconexiones con otros sistemas eléctricos de a bordo.

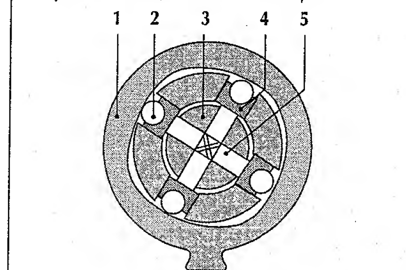
Bombas rotativas de inyección con mando de válvulas de electroimán

En las bombas rotativas de inyección de los años venideros una válvula de electroimán de alta presión que cierre directamente la cámara de presión de la bomba, se encargará de la dosificación del combustible. Esto permitirá una aún mayor flexibilidad en la dosificación del combustible y en la variación del inicio de inyección.

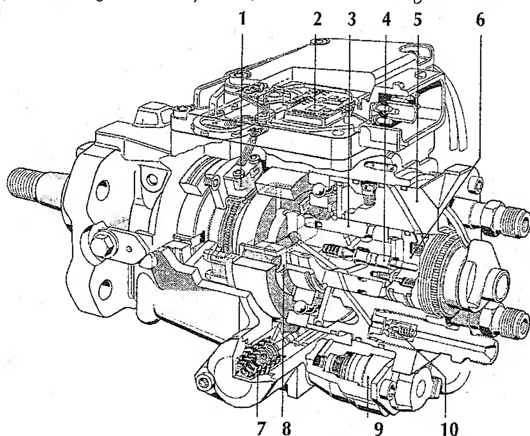
Bombas rotativas de inyección de émbolos axiales

La bombas rotativas de inyección de émbolos axiales trabajan según el mismo principio de obtención de presión que las

Bomba de émbolos radiales
1 Anillo de levas, 2 Rodillo, 3 Árbol de distribución, 4 Zapata de rodillo, 5 Émbolo de transporte



Bomba rotativa de inyección de émbolos radiales regulada por válvula de electroimán
1 Sensor (ángulo/tiempo), 2 Dispositivo electrónico de mando, 3 Árbol de distribución, 4 Aguja de la válvula de electroimán, 5 Cuerpo del distribuidor, 6 Imán de presión, 7 Regulador de inyección, 8 Bomba de émbolos radiales, 9 Válvula de impulsos del regulador de inyección, 10 Válvula de estrangulamiento de retorno



bombas rotativas de inyección reguladas electrónicamente usadas hasta ahora. Los principales nuevos conjuntos son:
- válvula de electroimán de alta presión,
- dispositivo de mando electrónico y
- sensor del ángulo de giro.

El momento del cierre de la válvula determina el inicio del transporte, y con su abertura se fija el final del transporte. El tiempo que está cerrada la válvula determina la cantidad inyectada. Las presiones de inyección están alrededor de los 1200 bar en el lado del inyector.

Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales

Las bombas rotativas de émbolos radiales para motores de inyección directa alcanzan presiones en el lado de la bomba de hasta 1000 bar y en el lado del inyector de hasta 1500 bar.

El flujo directo de fuerzas dentro del accionamiento de levas tiene poca flexibilidad elástica y por consiguiente mayor capacidad de potencia. Además, el final de transporte en la leva queda en el intervalo de alta velocidad de transporte y alta capacidad de soporte de la leva.

La regulación de la válvula de electroimán posibilita regulación rápida de arranque del compartimiento cinemático.

Sistemas de bombas individuales reguladas en el tiempo

A los sistemas nuevos regulados electrónicamente "unidad bomba/inyector (PDE)" y "bomba/conducción/inyector (PLD)" para motores diesel modernos de inyección directa para vehículos industriales y automóviles pertenecen los sistemas de inyección de bombas individuales regulados en el tiempo.

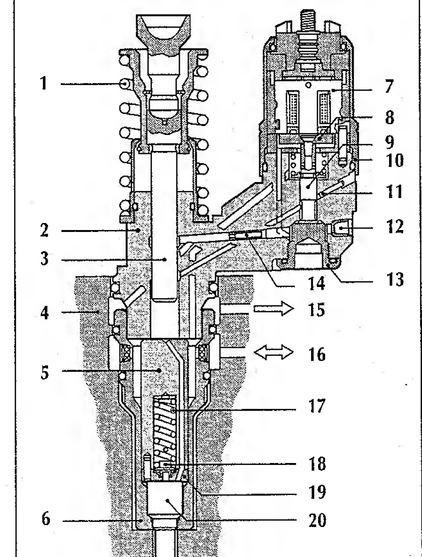
Unidad bomba/inyector (PDE)

La unidad bomba/inyector regulada electrónicamente es una bomba individual de inyección con válvula magnética integrada e inyector incorporado, que es instalada directamente en la culata del motor diesel. Cada cilindro del motor tiene su unidad propia de inyección, fija en la culata con una garra de sujeción. La PDE es accionada directamente por un balancín o indirectamente a través de una biela y una palanca basculante de una leva de inyección en el árbol de levas del motor.

Con la válvula de electroimán 2/2 de conmutación rápida, el inicio de la inyección y la cantidad de inyección se regulan a voluntad dentro del campo característico.

Sin excitación, la válvula de electroimán está abierta. Por ello hay paso libre del sistema de bomba al sector de baja presión del sistema y con ello el llenado del compartimiento de la bomba durante la carrera de aspiración del émbolo de la bomba y el retorno del combustible durante la carrera de transporte. Una regulación de la válvula de electroimán durante la carrera de transporte del émbolo de la bomba cierra esa derivación con lo cual aumenta la presión en el sector de alta presión y a sobrepasar la presión de abertura del inyector para la inyección del combustible.

Unidad bomba/inyector (PDE)
1 Muelle de retorno, 2 Cuerpo de la bomba, 3 Émbolo de la bomba, 4 Culata, 5 Sujeción del muelle, 6 Tuerca tensora, 7 Estator, 8 Placa de anclaje, 9 Aguja de la válvula magnética, 10 Tuerca tensora, 11 Tapón de alta presión, 12 Tapón de baja presión, 13 Tope de carrera de la válvula magnética, 14 Estrangulamiento, 15 Retorno de combustible, 16 Admisión de combustible, 17 Muelle de inyector, 18 Perno de presión, 19 Disco intermedio, 20 Inyector



Así se asegura que la válvula de electroimán inyecta de forma no controlada sólo una vez en un aprisionado en estado cerrado o en un aprisionado en estado abierto no inyecte en absoluto. De esta forma el momento de cierre de la válvula de electroimán significa el inicio de la inyección y su duración la cantidad inyectada.

La PDE admite presiones de 160 MPa (en un futuro de 180 MPa). Estas altas presiones de inyección y la regulación electrónica de campo característico llevan a una reducción clara de las emisiones contaminantes a consumos reducidos de combustible. Con ello se cumplen los valores límite actuales y los previstos para las emisiones.

Adicionalmente es posible la inyección previa (inyección piloto) y la desconexión individual de cilindros, p.ej. en el campo de carga parcial.

Bomba/conducción/inyector (PLD)

El sistema bomba/conducción/inyector también es un sistema de inyección de bomba individual construido de forma modular y regulado en el tiempo, íntimamente relacionado con la PDE. Cada cilindro del motor es suministrado por un módulo propio que consta de los siguientes componentes:

- bomba de alta presión con válvula de electroimán integrada de conmutación rápida,
- conducción corta de alta presión y
- combinación de portainyector.

La PLD está casi siempre en el bloque del motor diesel y accionada directamente por una leva de inyección del árbol de levas del motor. La válvula de electroimán 2/2 regula exactamente el inicio inyectada y la cantidad de inyección en dependencia del campo característico.

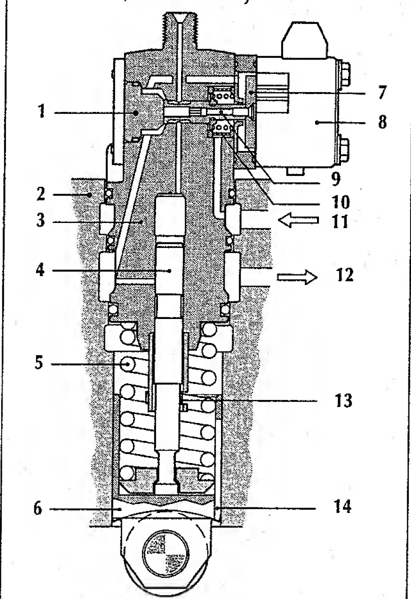
En el caso de un aprisionado la PLD reacciona de la misma forma que la PDE. A válvula de electroimán abierta es posible el llenado del cilindro de la bomba durante la carrera de aspiración y el retorno de combustible durante la carrera de transporte. Tan pronto como la válvula magnética es regulada y con ello cerrada, se forma, durante la carrera de transporte, una presión en el compartimiento de alta presión. Después de sobrepasarse la presión de abertura del inyector, se inyecta combustible en el inyector. La PLD admite presiones de 160 MPa (en un futuro 180 MPa). Con las altas presiones se cumplen todos los valores límite de emisiones actuales y previstos. También son posibles una inyección previa y la desconexión individual de cilindros.

Dispositivo electrónico de mando

En la PDE y la PLD falta, como en todos los sistemas regulados en el tiempo, una unión mecánica entre el inicio de la inyección y la posición del cigüeñal. Por ello el inicio de la inyección debe coordinarse lo más exactamente posible con una posición determinada del émbolo del motor o del cigüeñal. Base para la coordinación exacta es una rueda transmisora incremental en el cigüeñal y para la sincronización con los cilindros del motor una rueda de impulsos en el árbol de levas del motor.

La regulación de los procesos de inyección se efectúa según las secuencias de tiempo y dependencias fijadas grabadas en el dispositivo de mando.

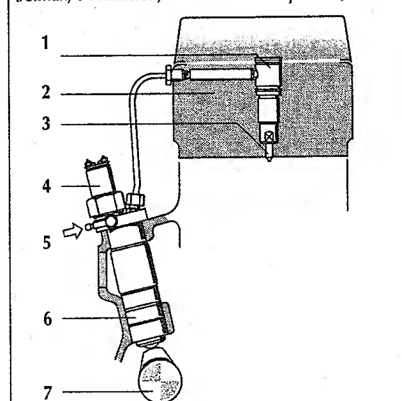
Bomba de alta presión con válvula de electroimán 2/2 (PLD)
1 Tope de carrera de la aguja de válvula de electroimán, 2 Bloque del motor, 3 Cuerpo de la bomba, 4 Émbolo de la bomba, 5 Muelle de retroceso, 6 Biela de rodillo, 7 Placa de anclaje, 8 Estátor, 9 Aguja de la válvula de electroimán, 10 Filtro, 11 Admisión de combustible, 12 Retorno de combustible, 13 Dispositivo de retención de retorno, 14 Ranura de fijación



El dispositivo electrónico de mando, que se puede montar en el motor diesel, regula las válvulas de electroimán de la PDE y la PLD. El dispositivo, construido con tecnología digital, registra y procesa las señales de diferentes sensores y transmisores. La estructura de los circuitos comprende conmutaciones de entradas y salidas, componentes de memoria y circuitos integrados para la transformación de las señales de entrada en magnitudes adecuadas para el procesado en un microordenador. En el dispositivo de mando se pueden memorizar campos característicos de diferentes parámetros. La carga y el número de revoluciones son las magnitudes básicas sobre las cuales el conductor puede influir directamente por medio del pedal de marcha. Otras magnitudes de regulación son las temperaturas del aire de alimentación, del combustible y del líquido de refrigeración así como también la presión del aire de alimentación. Con ello el estado de funcionamiento del motor se ajusta de forma óptima a la situación correspondiente.

Aparte de estas funciones básicas, un sinnúmero de funciones aumentan el confort de la conducción. Para cumplir con las altas exigencias de fiabilidad, el dispositivo de mando corrige los fallos que aparezcan en los componentes del sistema y posibilita el diagnóstico exacto del sistema de inyección y del motor diesel.

Bomba/conducción/inyector (PLD)
1 Portainyector, 2 Motor, 3 Inyector, 4 Válvula de electroimán, 5 Admisión, 6 Bomba de alta presión, 7 Leva



Los datos específicos del motor y del vehículo son leídos directamente después de la fabricación del dispositivo de mando por el fabricante del motor o del vehículo mediante la programación EOL (End Of The Line).

Con estas posibilidades de adaptación, el dispositivo electrónico de mando se puede emplear, sin variar el hardware, para diferentes tipos de motores y de vehículos. Para cumplir con las altas exigencias de seguridad contra interferencias, el dispositivo de mando dispone de entradas y salidas resistentes a los cortocircuitos e impulsos de interferencia de la red de a bordo. Filtros y pantallas garantizan un alto grado de EMV (compatibilidad electromagnética), protección contra irradiación de interferencias y de emisión.

Mediante el CAN (Controller Area Network) es posible la interconexión con otros componentes del vehículo, como p.ej. el sistema de antibloqueo (ABS), la regulación antideslizamiento de accionamiento (ASR) o la regulación de la caja de cambios (GS).

Sistema Common Rail

El sistema de inyección de almacenamiento "Common Rail" hace posible la integración del sistema de inyección en el motor diesel junto con ampliaciones de funciones y conseguir grados adicionales de libertad para el desarrollo de la combustión.

La característica base del sistema Common Rail es que la presión de inyección se obtiene independientemente del número de revoluciones del motor y de la cantidad inyectada y que la presión media de inyección se puede aumentar.

Estructura del sistema

El desacoplamiento de la obtención de la presión y de la inyección se efectúa mediante el almacenamiento de un volumen. Este volumen, determinante para el funcionamiento, se forma entre el colector de distribución (Common Rail), las conducciones y el mismo inyector.

Una bomba de émbolo produce la alta presión; en los vehículos industriales va como bomba en línea y en los turismos como bomba de émbolos radiales. La bomba puede trabajar con pares de giro punta reducidos, lo cual consigue una clara descarga del accionamiento de la bom-

ba. Para obtener un rendimiento total alto la bomba se realiza preferentemente como bomba de regulación.

La presión del sistema, producida por la bomba de alta presión y regulada por un circuito de regulación, se acopla a un inyector convencional. El inyector, como pieza clave del sistema, tiene la misión de introducir correctamente el combustible en la cámara de combustión. Un impulso del dispositivo de mando, dado en el momento justo a la válvula de electroimán, inicia el proceso de inyección. La duración de la abertura y la presión del sistema determinan la cantidad de combustible inyectada.

El dispositivo de mando, los sensores y la mayoría de las funciones del sistema en el Common Rail son iguales que en los otros sistemas de bombas individuales reguladas en el tiempo.

Potencial hidráulico de potencia

La separación de las funciones "producción de presión" e "inyección" abre un ulterior grado de libertad en el desarrollo de la combustión: la presión de inyección puede ser escogida casi libremente dentro del campo característico. Además, la presión media durante el proceso de la inyección es aproximadamente igual a la presión máxima y del orden de los 1400 bar.

La conformación del transcurso de la inyección y la inyección previa o las inyecciones múltiples son medidas que permiten ulteriores reducciones de emisiones de gases de escape y de ruidos.

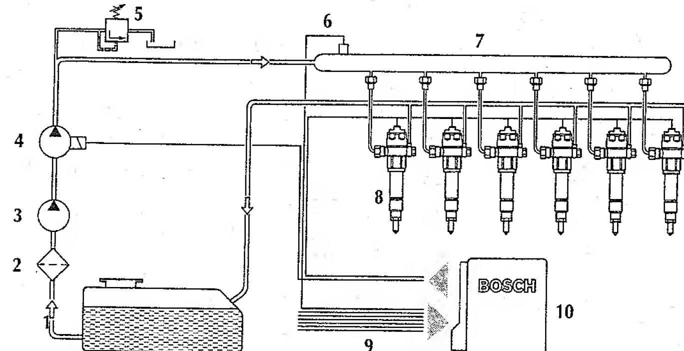
En el sistema Common Rail el movimiento de la aguja del inyector puede modificarse en un intervalo determinado. Mediante una regulación múltiple de la válvula de electroimán, extremadamente rápida, se pueden producir inyecciones múltiples. La aguja del inyector cierra con ayuda hidráulica y asegura así un final rápido de inyección.

Aplicaciones del sistema en el motor

Al aplicarse el sistema Common Rail a un motor diesel, éste en general no sufre modificaciones. La bomba de alta presión ocupa el lugar de la bomba de inyección y el inyector se integra en la culata como unidad junto al portainyector. El Common Rail es pues otra alternativa para los motores diesel modernos frente a otros sistemas de inyección.

Bancos de pruebas para bombas de inyección

Solamente con bombas de inyección y reguladores comprobados y ajustados se alcanza la relación óptima consumo/potencia del motor diesel y el cumplimiento de las normas cada vez más estrictas sobre emisiones de gases de escape. Por ello es imprescindible el banco de pruebas para bombas de inyección. Las normas ISO determinan las principales condiciones para



Sistema de inyección con almacenamiento "Common Rail"
1 Depósito de combustible, 2 Filtro, 3 Bomba previa de transporte, 4 Bomba de transporte de alta presión, 5 Válvula de delimitación de la presión, 6 Sensor de presión, 7 Colector de distribución, 8 Inyectores, 9 Sensores, 10 Dispositivo electrónico de mando

la comprobación y el banco de pruebas y exigen altos requerimientos en especial en rigidez y uniformidad al accionamiento.

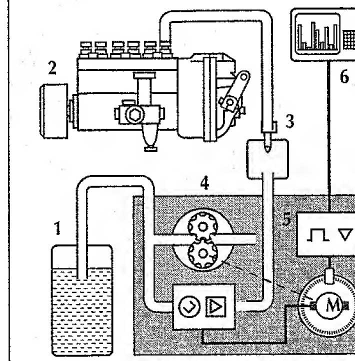
La bomba de inyección que se vaya a probar se acopla por su lado de accionamiento al embrague del banco de pruebas. Su accionamiento se efectúa por medio de un motor eléctrico (ya sea a través de un convertidor hidráulico y mecanismo de embrague y acoplamiento al volante de inercia o bien regulado directamente por frecuencias). Se le empalman las tuberías de suministros y retorno de aceite de prueba del alimentador del banco de pruebas y con conducciones de presión se une al dispositivo de medición del caudal, que consta de inyectores de prueba con presión de abertura calibrada exactamente, que inyectan a través de amortiguadores en el sistema de medición. La presión y la temperatura del aceite de prueba se ajusta a las normas de comprobación.

Medición continua de la cantidad

En el método de medición de las cantidades transportadas en trabajo continuo, se monta una bomba de engranajes, de precisión, por cada cilindro. Las revoluciones de esta bomba de engranajes se regula de tal forma, que su caudal por unidad de tiempo sea igual a la cantidad inyectada de aceite de prueba. Así, el número de revoluciones de la bomba es una medida de la cantidad transportada por unidad de tiempo. Un microprocesador evalúa los datos de medición y los representa en un monitor en forma de barras. Característicás para este método de medición son la alta precisión y la buena posibilidad de reproducción de los valores de medición.

Medición cuantitativa con vasos de medición

En la medición cuantitativa con vasos de medición el aceite de prueba inyectado fluye primero a lo largo de los vasos de medición y va directamente de retorno al depósito de aceite. Cuando después de alcanzar el número de carreras prescrito en el contador de vueltas/carreras se pone en marcha el proceso de medición, entonces una corredera de separación abre la admisión de aceite de comprobación a los vasos de medición y vuelve a interrumpirlo al alcanzarse el número prefijado de carreras. La cantidad inyectada se puede leer en los vasos de medición.



Sistema de medición en continuo de las cantidades
1 Depósito de combustible de pruebas, 2 Bomba de inyección, 3 Inyector de prueba, 4 Elemento de medición, 5 Contador de imulsoso, 6 Monitor indicador

Comprobador para motores diesel Motortester

Con la ayuda del Motortester de motores diesel se puede ajustar la bomba en relación con el motor de forma exacta. Este dispositivo mide el inicio de transporte, la regulación de la inyección y su número correspondiente de revoluciones, sin que haya que abrir las conducciones de alta presión. Se coloca con una mordaza de sujeción un transmisor sobre la conducción de inyección del primer cilindro. Juntamente con un estroboscopio o un transmisor del punto muerto superior para el registro de la posición del cigüeñal el Motortester de motores diesel determina el inicio del transporte y la regulación de inyección.

Si se utiliza un sistema indicador del inicio del suministro entonces en vez de con mordaza se enrosca un transmisor inductivo en el armazón del regulador. Este recibe sus impulsos a través de una clavija que pasa por delante que está colocada en la cápsula de la masa centrífuga del regulador. Estos impulsos se generan a intervalos de tiempo en referencia a las señales del transmisor del punto muerto superior. De la diferencia de tiempo el dispositivo calcula el inicio del suminstro.

Inyectores y portainyectores

Misiones

En el sistema de inyección de un motor diesel los inyectores, dentro de sus correspondientes portainyectores, son los nexos entre la bomba de inyección y el motor. Sus misiones son:

- la inyección dosificada,
- la preparación del combustible,
- la conformación del transcurso de la inyección,
- el estanquizar la cámara de combustión.

El carburante diesel se inyecta a alta presión. La presión punta para el carburante diesel llega hasta 1200 bar y en el futuro incluso más. Bajo tales condiciones el carburante ya no se comporta como un líquido estricto; más bien es comprimible. Durante el breve tiempo de transporte (aprox. 1 ms) el sistema de inyección se localmente se "hincha". Con ello la sección del inyector determina a la cantidad de carburante que llega a la cámara de combustión del motor.

Mediante su longitud y diámetro del agujero, dirección del chorro y (con limitaciones) la forma del agujero el inyector influye en la preparación del carburante y con ello en la potencia así como también el consumo y las emisiones del motor.

El transcurso deseado de la inyección se consigue, dentro de ciertos límites, mediante una "correcta" regulación de la sección de la corriente del inyector (dependiente de la carrera de la aguja del inyector) y por la regulación del movimiento de la aguja del inyector. Finalmente el inyector debe estanquizar el sistema de inyección contra los gases calientes de la combustión (hasta aprox. 1000 °C). Para evitar el retorno de estos gases con el inyector abierto, la presión dentro de la cámara de presión del inyector debe ser siempre superior a la presión de la combustión. Bajo este aspecto es de especial importancia, al final del proceso de inyección (con presión de inyección que ya ha bajado y presión de combustión en fuerte aumento), un ajuste esmerado entre bomba de inyección, inyector y muelle de presión.

Tipos de construcción

Los dos tipos de motores diesel, que se clasifican en motores con cámara de combustión dividida (antecámara y cámara de turbulencia) y con cámara de combustión única (motores de inyección directa) requieren construcciones diferentes de inyectores.

Para motores con antecámara o de cámara de turbulencia se utilizan inyectores de tetón con un chorro coaxial y una aguja que normalmente abre hacia adentro.

Para motores de inyección directa con cámara principal única de combustión se utilizan inyectores de orificios.

Inyectores de tetón

La combinación estándar de inyector/portainyector para motores con antecámara o de cámara de turbulencia la forman un inyector (tipo DN...SD...) y un portainyector (tipo KCA con rosca). El portainyector en su forma normal tiene una rosca M24x2 y profundidad de cierre de 27 mm. En la mayoría de los casos se emplean inyectores DN O SD.. con un diámetro de aguja de 6 mm y un ángulo de apertura de chorro de 0°. Más raro es encontrar inyectores con un ángulo de cono de chorro definido (p.ej. 12° en inyectores DN 12 SD..). Para situaciones con disponibilidad reducida de espacio en la culata existen modelos más pequeños de portainyector (p.ej. soportes KCE).

Un distintivo del inyector de tetón es la regulación de la sección de la salida, es decir del caudal en función directa de la carrera de la aguja. Mientras que en el inyector de orificios aumenta fuertemente la sección después de la abertura de la aguja, los inyectores de tetón evidencian un transcurso muy plano de sección en el intervalo de carreras pequeñas. En este intervalo de carreras el pivote de estrangulamiento, una prolongación de la aguja, permanece aún en el orificio de inyección. Como sección de caudal está disponible solamente la pequeña superficie en forma de corona entre el pivote y el orificio. Con valores de carreras grandes de aguja el pivote de estrangulamiento sale del todo del

orificio y la sección del caudal aumenta fuertemente.

Esta variación de la sección dependiente de la carrera regula hasta cierto grado el transcurso de la inyección e incluso la cantidad inyectada por unidad de tiempo. Al comienzo de la inyección sale poco combustible del inyector; al final mucho. Este transcurso influye positivamente en el ruido de la combustión.

Hay que tener en cuenta que con secciones transversales muy reducidas, es decir con carreras demasiado pequeñas de la aguja, la aguja del inyector se acelera más en sentido de "abrir" por la bomba de inyección, saliéndose así de la carrera de estrangulamiento. La cantidad de combustible dependiente del tiempo se incrementa rápidamente y el ruido de la combustión aumenta.

De forma parecida tienen efecto secciones demasiado pequeñas al final de la inyección, debido a que al cierre de la aguja del inyector el volumen de combustible desplazado sólo puede fluir muy lentamente. De esta forma el final de la inyección es retrasado de forma no conveniente. Por ello es importante coordinar el transcurso de la sección con la cantidad transportada por la bomba de inyección y con las particularidades del procedimiento de combustión.

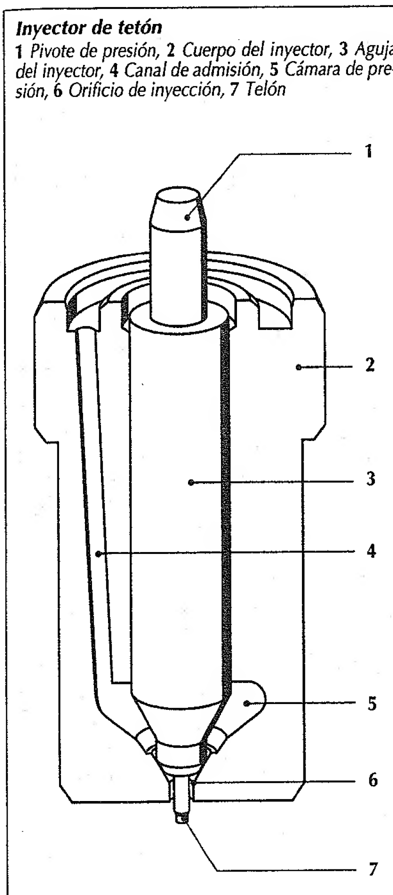
Los métodos de fabricación consiguen orificios de inyección según medidas geométricas nominales con estrechas tolerancias. Sin embargo, durante el funcionamiento en el orificio del inyector se producen fuertes e irregulares incrustaciones de coque determinadas por la calidad del carburante y la forma de funcionamiento del motor. De la sección de caudal normalmente sólo queda libres aprox. un 30% de la sección original.

En los inyectores de tetones de superficies la coquización es menor y más regular, siendo una variante constructiva especial cuyo tamaño de corona entre orificio y pivote de estrangulamiento es casi nulo. El pivote aquí tiene una superficie rebajada que libera la sección de caudal. Se forma una canal de corriente que reduce la superficie referida a la sección de caudal y aumenta el efecto de autolimpieza. La superficie rebajada a menudo está situada paralelamente al eje de la aguja. Con inclinación adicional de la superficie aumenta más el intervalo plano de la curva para la cantidad de caudal y proporciona así una transición más suave a la abertura plena del orificio. Esto influencia favorablemente el ruido de carga parcial y el comportamiento de marcha.

Las temperaturas por encima de los 220 °C en los inyectores también originan fuertes incrustaciones. Pequeñas placas o sombreros de protección contra el calor ayudan en este problema, descargando el calor proveniente de la cámara de combustión hacia la culata.

Inyector de tetón

1 Pivote de presión, 2 Cuerpo del inyector, 3 Aguja del inyector, 4 Canal de admisión, 5 Cámara de presión, 6 Orificio de inyección, 7 Telón



Inyectores de orificios
Las combinaciones de inyectores y portainyectores de orificios (DHK) evidencian una multitud de variantes. Contrariamente a lo que sucede con los inyectores de tetones, el montaje de los inyectores de orificios normalmente está predeterminado. Los orificios dispuestos en diferentes ángulos en el cuerpo del inyector, deben estar orientados de acuerdo con la cámara de combustión. Por ello la fijación de la combinación de inyector y portainyector se efectúa en la culata mediante garras o tornillos huecos. Además está prevista la fijación giratoria para su correcto posicionamiento.

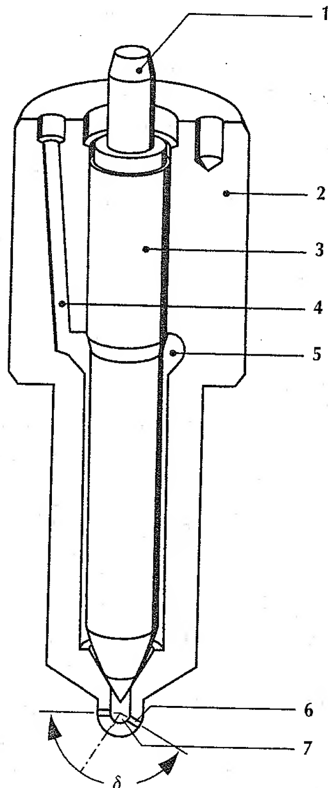
Los inyectores de orificios pueden ser con diámetros de aguja de 4 mm (tamaño P) y 5 o 6 mm (tamaño S), donde solamente en el tamaño P se tiene el inyector de orificio de asiento. Los muelles deben estar ajustados a los valores usuales de presiones altas de abertura superiores a los 180 bar. La función de estanquidad al final de la inyección tiene especial importancia, puesto que existe el peligro de retroceso de gases de la combustión a través del inyector, que anularía su funcionamiento y originaría así a una inestabilidad hidráulica. El ajuste en fino del diámetro de aguja y muelle de presión se encarga de esta función de estanquidad. En casos particulares también es necesario tener en cuenta las oscilaciones del muelle de presión. Para la disposición de los orificios de inyección en la cabeza de orificios del inyector existen tres tipos que se diferencian por el volumen de combustible que pueden evaporar al final de la inyección a la cámara de combustión. Los tipos de agujero ciego cilíndrico, de agujero ciego cónico y de tobera de agujero de asiento tienen un volumen de combustible decreciente en este mismo orden.

Correspondientemente decrecen también las emisiones de hidrocarburos del motor, ya que se evapora menos combustible.

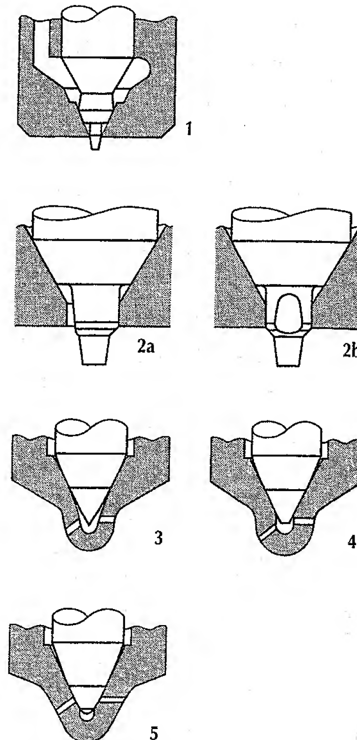
La resistencia mecánica de la cabeza del inyector limita la longitud del orificio de inyección hacia abajo. Dicha longitud actualmente es de 0,6 a 0,8 mm en agujeros cilíndricos y cónicos. En el inyector de tobera en agujero de asiento la longitud el orificio es de 1 mm, donde para la aplicación de los orificios es necesario un tipo especial de mecanización.

Los desarrollos van hacia orificios más cortos, puesto que normalmente originan mejores valores de humos. Las tolerancias de caudal de los orificios que se pueden practicar en los inyectores de orificios se sitúan en el ± 3,5%. Mediante un redondeado dirigido adicional (mecanización hidroerosiva) de los cantos de entrada del orificio de inyección se obtienen tolerancias del ± 2%. En inyectores de orificios el límite superior de temperatura está en 270 °C debido a la resistencia al calor del material. Para casos especialmente difíciles se dispone de husillos de protección contra el calor e incluso, para motores mayores de inyectores, refrigerados.

Inyector de orificios
1 Pivote de presión,
2 Cuerpo del inyector,
3 Aguja del inyector,
4 Canal de admisión,
5 Cámara de presión,
6 Orificio de inyección,
7 Agujero ciego,
δ Ángulo del cono del orificio de inyección



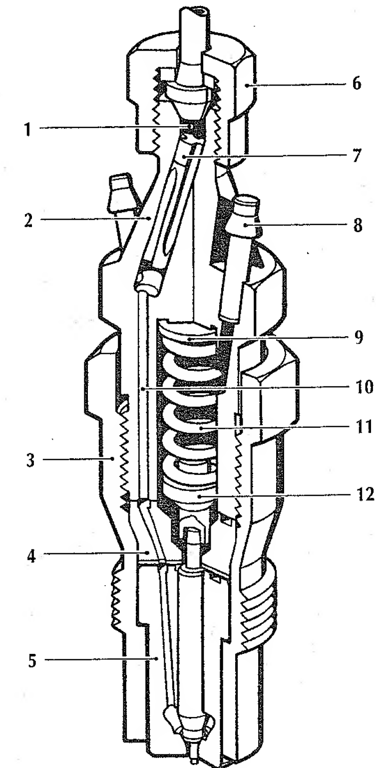
Formas de inyectores
1 Inyector de tetón,
2 Inyector de tetón con superficie inclinada,
2a Vista lateral,
2b Vista frontal,
3 Inyector de orificios con agujero ciego cónico,
4 Inyector de orificios con agujero ciego cilíndrico,
5 Inyector de agujero de asiento



Portainyector

Portainyector estándar
La estructura básica de una combinación inyector/portainyector (DHK) consta de portainyector y de inyector. El inyector se compone del cuerpo del inyector y de la aguja del inyector. La aguja del inyector es conducida suavemente por el taladro de conducción del cuerpo del inyector. Sin

Combinación inyector/portainyector
Con inyector de tetón
1 Admisión, 2 Cuerpo de sujeción, 3 Tuerca de apriete del inyector, 4 Arandela intermedia, 5 Inyector, 6 Tuerca racor con conducto de presión, 7 Varilla filtro, 8 Conexión de fugas de combustible, 9 Arandelas de ajuste de presión, 10 Canal de presión, 11 Muelle de presión, 12 Perno de presión



embargo estanca las altas presiones. La aguja del inyector lleva en su terminal inferior un cono de hermeticidad que en posición de reposo está presionado por el muelle contra la superficie cónica de hermeticidad del cuerpo del inyector. Los dos conos de hermeticidad tienen ángulos de abertura ligeramente diferentes de manera que entre ellos se produce una línea de contacto con alta compresión y buen efecto hermético.

El diámetro de la conducción de la aguja es mayor que el diámetro del asiento. La presión hidráulica de la bomba de inyección actúa sobre la diferencia de superficie entre la sección de la aguja y la superficie cubierta por el asiento. Si el producto entre la superficie de hermeticidad y la presión supera a la fuerza del muelle en el cuerpo de soporte, entonces se abre el inyector. Puesto que en este proceso la superficie cargada de presión de golpe está aumentada por la superficie del asiento, se abre "de golpe" el inyector a suficiente cantidad transportada de la bomba de inyección y vuelve a cerrarse tan pronto como la presión de abertura queda por debajo de la normalmente menor presión de cierre. El efecto de histéresis es de especial importancia para la concepción de sistemas de inyección en relación a su estabilidad hidráulica.

La presión de abertura de una combinación inyector/portainyector (aprox. 110 a 140 bar en un inyector de tetón y de 150 a 250 bar en un inyector de orificios) se ajusta añadiendo arandelas debajo del muelle de presión.

La presión de cierre resulta entonces de la forma del inyector, de la relación entre diámetros de la conducción de la aguja al del asiento, del llamado escalón de presión.

Portainyector de dos muelles

Se utilizan preferentemente en motores de inyección directa, para los cuales la medida primordial más importante para la reducción del ruido de combustión es una inyección previa dirigida.

La inyección previa que se encarga del aumento relativamente suave de la presión permite un ralentí redondo y estable y reduce los ruidos de la combustión.

El portainyector de dos muelles logra este efecto conveniente mediante la forma mejorada del transcurso de inyección de la que resulta:

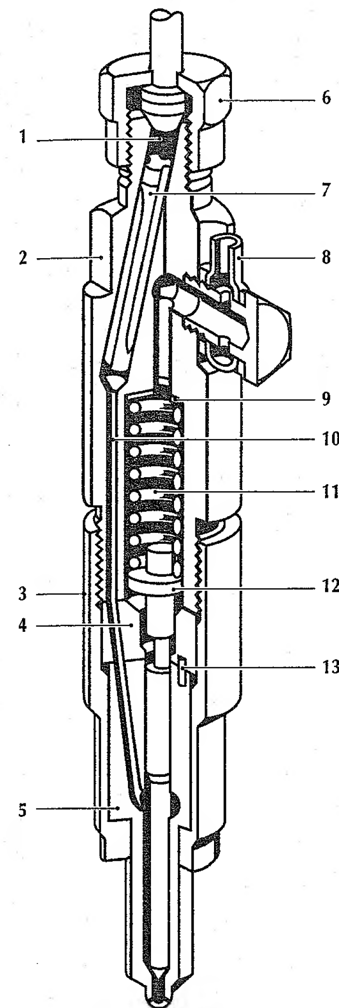
- presión de abertura 1,
- presión de abertura 2,
- carrera previa y
- carrera total.

El ajuste de la presión de abertura 1 se efectúa de la misma manera que en el portainyectores de un muelle. La presión de abertura resulta de la suma de la tensión previa del muelle 1 y la del muelle adicional 2. El muelle 2 se apoya en un manguito de tope, en el cual está incorporada la medida de la carrera previa. En el proceso de inyección la aguja primeramente sólo abre el alcance de la carrera previa. Las amplitudes usuales de carrera previa están alrededor de 0,03 a 0,06 mm. En un ulterior incremento de la presión en el portainyector se levanta el manguito de tope y la aguja abre a carrera plena. Para la ulterior aplicación en el portainyector de dos muelles hay inyectores especiales en los cuales la aguja no lleva ningún pivote de presión y el hombro de la aguja está situado plano con el cuerpo del inyector.

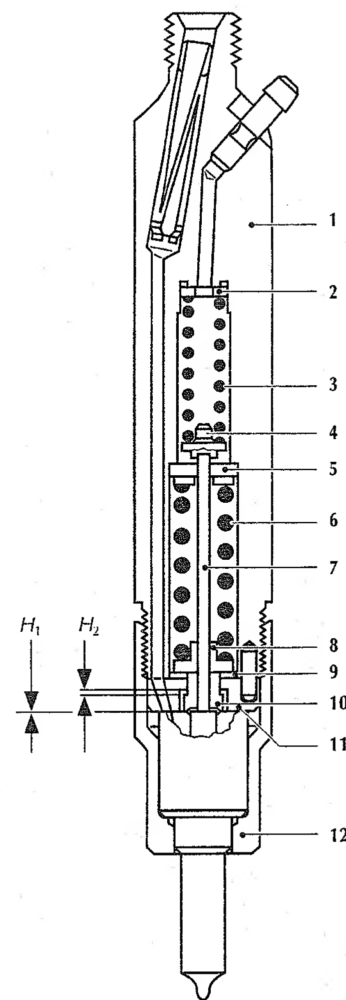
Representación más sencilla: los muelles del portainyector de dos muelles están ajustados de tal forma, que primeramente se entrega una pequeña cantidad de combustible a la cámara de combustión que aumenta ligeramente la presión de combustión. La así alargada duración de inyección lleva con la consiguiente mayor cantidad residual a una combustión más suave.

Para motores con antecámara de combustión y de turbulencia también se dispone de portainyectores de dos muelles. Los valores de ajuste están adaptados al sistema de inyección. Así, las diferentes presiones de abertura están p.ej. en 130/180 bar y las carreras previas en aprox. 0,1 mm.

Combinación de inyector/portainyector
Con inyector de orificios.
1 *Admisión,* **2** *Cuerpo de soporte,* **3** *Tuerca de aprieto del inyector,* **4** *Arandela intermedia,* **5** *Inyector,* **6** *Tuerca de racor con conducto de presión,* **7** *Varilla filtro,* **8** *Conexión de combustible de fugas,* **9** *Arandelas de ajuste de presión,* **10** *Canal de presión,* **11** *Muelle de presión,* **12** *Perno de presión,* **13** *Espigas posicionadoras*



Portainyector de dos muelles KBEL..P..
H_1 Carrera previa, H_2 Carrera principal,
$H_{total} = H_1 + H_2$ Carrera total,
1 *Cuerpo de soporte,* **2** *Arandela de compensación,* **3** *Muelle de presión 1,* **4** *Perno de presión,* **5** *Arandela de guía,* **6** *Muelle de presión 2,* **7** *Clavija de presión,* **8** *Platillo de muelle,* **9** *Arandela de compensación,* **10** *Manguito de tope,* **11** *Arandela intermedia,* **12** *Tuerca de aprieto del inyector*



Gases de escape de motores diesel

Los componentes principales y secundarios de los gases de escape de motores diesel se describen, conjuntamente con los gases de escape de motores Otto, a partir de la pág. 486. En la tabla 1 se representan la composición y las temperaturas de los gases de escape.

Formación de la mezcla

En comparación con los motores Otto, los motores diesel trabajan con un combustible que hierve más difícilmente, preparan la mezcla de aire/combustible hasta el comienzo de la combustión en un tiempo menor y alcanzan así una mezcla menos homogénea. Trabajan siempre con un exceso de aire ($\lambda > 1$). Si el exceso de aire no es suficiente, aumentan las emisiones de hollín, monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos (HC).

Transcurso de la combustión

El comienzo de la inyección inicia la combustión. Ese comienzo de la combustión influye en el rendimiento del motor. La temperatura de la combustión influye principalmente en la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Purificación de los gases de escape

Medidas en el motor

Cámara de combustión
La forma de la cámara de combustión influye en la emisión de los gases de escape.

Los motores con cámara de combustión subdividida (antecámara, cámara de turbulencia) expulsan menos óxidos de nitrógeno que los motores con inyección directa. Los motores de inyección directa consumen no obstante menos combustible.

Una cuidadosa adecuación del movimiento del aire en la cámara de combustión contra los chorros de combustible favorece la mezcla del aire con el combustible y con ello la combustión completa. Para asegurar la inflamación es precisa una temperatura de compresión suficientemente alta.

Inyección de combustible
El inicio y el transcurso de la inyección, y la pulverización del combustible influyen en la emisión de substancias contaminantes. El inicio de la inyección determina fundamentalmente el inicio de la combustión. Una inyección retardada disminuye la emisión de óxidos de nitrógeno. Una inyección demasiado retardada aumenta la emisión de hidrocarburos y el consumo de combustible. Una variación de 1° de ángulo de cigüeñal sobre el valor nominal del inicio de la inyección puede elevar la emisión de NO_x o de CH aproximadamente entre un 5 y un 15 %. Esta elevada sensibilidad obliga a unos inicios de la inyección muy bien regulados. El inicio de la inyección más favorable puede mantenerse con precisión por medio de la regulación electrónica. Tales aparatos regulan la posición del regulador de inyección de la instalación de inyección con relación a una marca en el cigüeñal (regulación del inicio de transporte de combustible). Se logra una alta precisión si el inicio de la inyección se mide directamente en la válvula de inyección. Para ello se mide el movimiento de la aguja del inyector por medio de un sensor (regulación del inicio de la inyección).

El combustible que penetra en la cámara de combustión después del final de la combustión, puede pasar al tubo de escape sin quemarse y elevar así la emisión de hidrocarburos.

Para que esto no suceda hay que evitar absolutamente que se produzcan inyecciones posteriores. Por ello las válvulas de inyección han de ser de un tipo tal que entre el asiento de estanquidad y el extremo del orificio de inyección quede encerrado el menor volumen de combustible posible.

El combustible finamente pulverizado favorece la mezcla de aire con el combustible. Contribuye a disminuir la emisión de hidrocarburos y hollín (partículas). Se consigue una pulverización fina con una presión de inyección elevada y la forma apropiada de los agujeros de inyección.

La cantidad máxima de combustible, en relación con la cantidad de aire aspirado, debe limitarse de modo que el motor no emita hollín. Esto exige un exceso de aire como mínimo del 10 al 20% ($\lambda = 1{,}1$ a $1{,}2$).

Tabla 1. Composición y temperatura de los gases de escape

Componentes del gas de escape		Al ralentí	A potencia máxima
Oxidos de nitrógeno (NO_x)	ppm	50...250	600...2500
Hidrocarburos (HC)	ppm C_1	50...500	150
Monóxido de carbono (CO)	ppm	100...450	350...2000
Dióxido de carbono (CO_2)	% en vol.	...3,5	12...16
Vapor de agua	% en vol.	2...4	...11
Oxígeno	% en vol.	18	2...20
Nitrógeno y otros	% en vol.	resto	resto
Hollín	mg/m^3	≈ 20 (SZ ≈ 0,7)	≈ 200 (SZ ≈ 3,5)
Temperatura gas escape[1]	°C	100...200	550...750

[1] Después de la válvula de escape.

Temperatura del aire aspirado
Con temperatura creciente del aire aspirado se eleva la temperatura de la combustión y con ello la emisión de óxidos de nitrógeno. En los motores con sobrealimentación, el enfriamiento del aire comprimido ("intercooling") es una medida efectiva para disminuir la formación de NO_x.

Retroalimentación de gases de escape
El aire aspirado se mezcla con gases de escape y de esta forma se reduce la concentración de oxígeno de la sobrealimentación y se eleva su calor específico. Ambas influencias reducen la temperatura de la combustión (y con ello la formación de óxidos de nitrógeno) y además reducen la cantidad de gases de escape expulsados. Si se recupera una cantidad demasiado elevada de gas de escape, aumenta la emisión de hollín y de monóxido de carbono por la insuficiencia de aire. Por ello hay que limitar la cantidad de gas de escape que se recupera de forma que en la cámara de combustión quede aire suficiente para la combustión del combustible inyectado.

Tratamiento posterior del gas de escape

La emisión de hidrocarburos se puede reducir por medio de catalizadores de metal noble en la instalación de gases de escape. Así se queman parte de los hidrocarburos gaseosos y de los hidrocarburos adheridos al hollín (carbono) con el oxígeno contenido en los gases de escape.

Los catalizadores que se utilizan en los motores Otto para disminuir la emisión de NO_x trabajan sólo con insuficiencia de oxígeno o con una regulación de mezcla estequiométrica muy precisa. Pero los motores diesel sólo pueden funcionar con exceso de aire (consumo de combustible, emisión de hollín e hidrocarburos). Por eso estos catalizadores que sólo reducen la emisión de NO_x no sirven para los motores diesel. Para reducir la emisión de sólidos (partículas), se están ensayando actualmente filtros que se colocan en el tubo de escape.

Comprobación de los gases de escape

De forma creciente las legislaciones limitan las emisiones contaminantes de los motores diesel. La comprobación de las emisiones se efectúa bajo condiciones de funcionamiento definidas.

Dispositivos de ensayo

Los turismos se prueban generalmente en un banco de pruebas de rodillos. Las emisiones de los motores de los camiones se comprueban en un banco de pruebas de motores.

Respecto a los valores límite y los métodos de comprobación, los EE.UU. hacen de pioneros. Allí está prescrito el procedimiento CVS (Constant Volume Sampling), apropiado para los ciclos dinámicos de comprobación y la medición de partículas. Durante el mismo se diluye el gas de escape expulsado del vehículo, durante un ciclo normalizado de comprobación, con aire ambiente purificado y se aspira por medio de un ventilador que trasiega una cantidad constante de gas. Con la dilución se evita la condensación de agua al recoger la muestra y se crea la temperatura

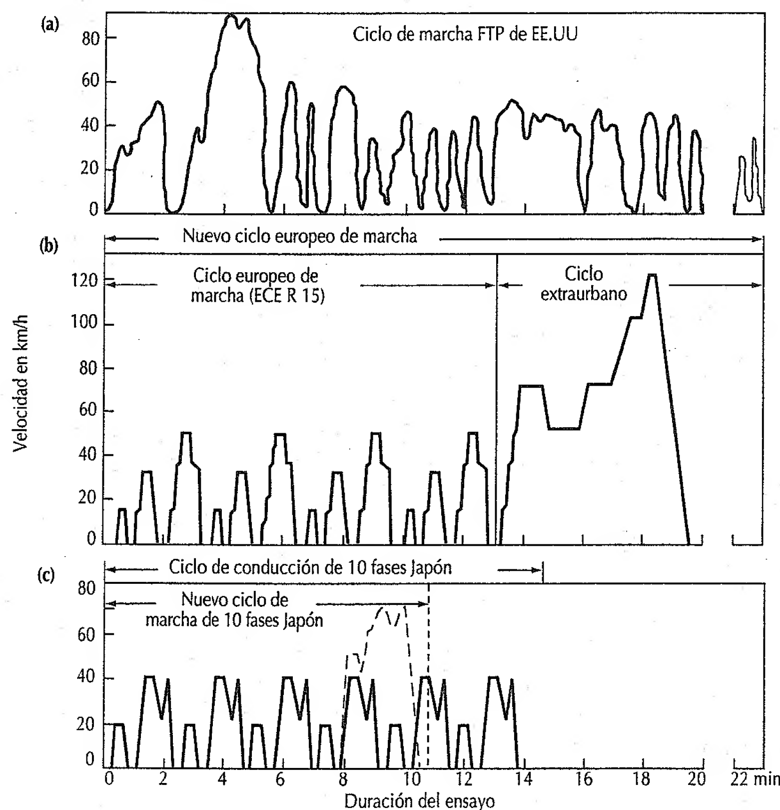
necesaria para la medición de partículas (52 °C).

El ventilador aspira de forma continua muestras del gas diluido. Una prueba se hace pasar por hojas filtro especiales, de cuyo incremento de masa se calcula la emisión de partículas.

Una segunda muestra (calentada) se lleva al FID (detector de ionización de llamas) el cual mide de forma continua la concentración de hidrocarburos (HC). La tercera muestra pasa a la bolsa de recogida del gas de escape cuyo contenido, al final del ensayo, se hace pasar por aparatos que miden el CO, CO_2 y NO_x contenido en el gas. Las emisiones de los diferentes componentes del gas de escape se calculan por el volumen de gas desplazado por el ventilador y las concentraciones de los distintos componentes.

Para la comprobación de las emisiones de los motores de camiones y de automóviles en EE.UU. se utilizan los mismos procedimientos y analizadores similares. Por lo general, al objeto de cumplir las condiciones marginales legales sobre los mayores tamaños de los túneles de dilución el gas de escape se diluye al doble. En el ciclo estacionario europeo de comprobación también es admitida la dilución parcial del caudal para la medición de las partículas. Normalmente después de la medición de las partículas se efectúa a continuación una comprobación del enturbiamiento de los gases de escape en funcionamiento a plena carga estacionario y no estacionario.

Ciclos de marcha para automóviles diesel en el ensayo de gases de escape
(a) *EE.UU.*, (b) *Europa*, (c) *Japón*



Ciclos de ensayo y valores límite para Europa

Automóviles y vehículos industriales ligeros

La legislación sobre gases de escape en la Comunidad Europea (CE o UE) se basa en la norma R15 o en la directiva 70/220/CEE y sus sucesivas.

Los valores válidos para vehículos industriales ligeros (peso total admisible <3,5 t) vienen dados en la directiva comunitaria 93/59/CEE. Para motores diesel de inyección directa (DI) se han determinado plazos de transición con valores límite menos exigentes. Están previstas ulteriores fases de reducción de los valores límite.

Para automóviles turismos (≤6 asientos, ≤2,5 t peso total admisible) rigen los valores límite de la directiva comunitaria 91/441/CEE. Para motores diesel de inyección directa (DI) se han determinado también aquí regulaciones de transición.

La próxima fase de restricción de los valores límite es la directiva 94/12/EU, la cual entrará en vigor para vehículos de serie el año 1997. Una ulterior reducción de los valores límite está prevista para el año 2000.

El ciclo de marcha anterior según ECE R 15 ha sido totalmente sustituido por el nuevo ciclo europeo de marcha (con parte extraurbana y velocidades hasta de 120 km/h). Sigue vigente la limitación del enturbia-

Tabla 2. Valores límite para vehículos industriales ligeros <3,5 t
(según 93/59/CEE)
Ciclo de marcha NEFZ (nuevo ciclo europeo de conducción); opción con v_{max} = 90 km/h para vehículos con velocidad máxima ≤ 130 km/h y/o para peso por unidad de potencia ≤ 30 kW/t limitado en el tiempo

Regulación estándar				Regulación especial DI para clases de vehículos M y N1	
Masa de referencia kg	Componentes contaminantes –	Comprobación de tipo a partir del 1.10.93 g/km	Primer permiso de circulación a partir del 1.10.94 g/km	Comprobación de tipo M hasta 1.07.94 N1 hasta 1.10.94 g/km	Primer permiso de circulación M hasta 31.12.94 N1 hasta 1.10.95 g/km
≤ 1250	HC + NO_x CO Partículas	0,97 2,72 0,14	1,13 3,16 0,18	1,36 2,72 0,20	1,58 3,16 0,25
≤ 1700	HC + NO_x CO Partículas	1,4 5,17 0,19	1,6 6,0 0,22	1,96 5,17 0,27	2,2 6,0 0,31
> 1700	HC + NO_x CO Partículas	1,7 6,9 0,25	2,0 8,0 0,29	2,4 6,9 0,35	2,8 8,0 0,41

Tabla 3. Valores límite para automóviles ≤2,5 t y ≤ 6 asientos
Ciclo de marcha: NEFZ (nuevo ciclo de conducción europeo, correspondiente a ECE R15 y EUDC)

Regulación	Comprobación	Fecha	Tipo de motor	HC + NO_x g/km	CO g/km	Partículas g/km
91/441/EWG(1) 1ª fase	Comprobación de tipo	a partir del 1.7.92		0,97	2,72	0,14
	Primer permiso de circulación	a partir del 31.12.92		1,13	3,16	0,18
94/12/EU(2) 2ª fase	Comprobación de tipo/	a partir del 1.1.96/	IDI(3)	0,7	1,0	0,08
	Primer permiso de circulación	a partir del 1.1.97	DI(4)	0,9	1,0	0,10
Propuesta D(2) 3ª fase		aprox. 2000	IDI(3)	0,5	0,5	0,04
			DI(4)	–	–	–

(1) Regulación especial para DI y V_H <1,4 l. (2) Sin bonificación de tolerancias serie (Valor límite de tipo igual a valor límite de serie). (3) Motores de cámara. (4) Motores de inyección directa

miento de los gases de escape ECE R24 ó 72/306/EWG.

Los países del "grupo de Estocolmo" (entre otros Suecia, Suiza, Austria) para los automóviles orientan la legislación a la de EE.UU. El ciclo de marcha y los valores límite equivalen a las regulaciones de EE.UU. de 1987. Adicionalmente en Suecia se favorece fiscalmente el cumplimiento de fases más estrictas. El ingreso de Suecia y de Austria en la UE requerirá la adaptación de las prescripciones sobre emisiones a las directivas de la UE.

Vehículos industriales

Para vehículos con un peso total admisible >3,5 t y >9 asientos se aplica en Europa generalmente el ensayo de 13 fases de la CEE R49. El procedimiento de ensayo prescribe una secuencia de 13 estados de funcionamiento. Con las mediciones de las emisiones de los diferentes estados de funcionamiento se calcula una emisión promedio.

Los valores límite, reducidos con respecto a los requerimientos iniciales para emisiones gaseosas, son complementados con valores límite para la emisión de partículas.

En la directiva 91/592/CEE están determinados los valores límite actualmente en vigor de la primera fase (EURO I), así como también los valores de la segunda fase (EURO II), que rigen para vehículos de serie desde 10/96. Una ulterior restricción de los valores límite está prevista para 1999. Para la 3ª fase (EURO III) también es de esperar una variación del ciclo de ensayo.

Las limitaciones del enturbiamiento de los gases de escape según ECE R24 siguen vigentes, pero pierden importancia frente a los límites fuertemente reducidos referentes a partículas.

Tabla 4. Valores límite para automóviles en Austria, Suecia, Suiza
Ciclo de marcha FTP 75

Componente contaminante	HC g/km	NO_x g/km	CO g/km	Partículas g/km
Valores límite	0,25	0,62	2,1	0,124

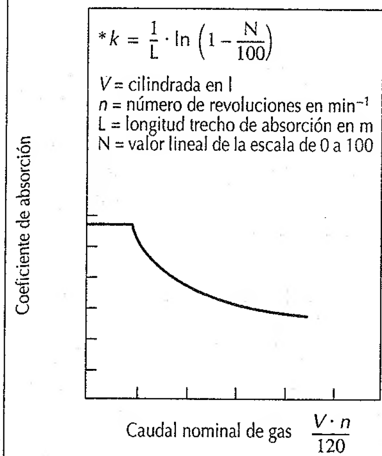
Adicionalmente rigen en Austria y Suiza valores límite de humos similares a CEE R24; en Suecia HSU 45/3,5 BSU.

Tabla 5. Valores límite para vehículos industriales pesados > 3,5 t
Ensayo de 13 fases (según CEE R49)

Regulación	Fecha	Comprobación	HC g/kWh	CO g/kWh	NO_x g/kWh	Partículas g/kWh
1ª fase 91/542/CEE (EURO I)	1.7.92 1.10.93	Comprobación de tipo Serie	1,1 1,23	8,0 9,0	4,5 4,9	0,36 (>85 kW) 0,,612 (≤85 kW) 0,4 (>85 kW) 0,68 (≤85 kW)
2ª fase 91/542/EWG (EURO II) [1]	1.10.95 1.10.96	Comprobación de tipo Serie	1,1 1,1	7,0 7,0	4,0 4,0	0,15[2] 0,15
3ª fase Propuesta (EURO III)	aprox. 1999	Ciclo de ensayo aún no definido	0,6	5,0	2,0	0,1
Austria	10.93	General	1,2	9,0	4,9	0,4
Suecia	1994 1993	General Ciclo urbano	1,2 0,6	7,0 7,0	4,9 2,0	0,4 0,15
Suiza	10.91	General	1,23	9,0	4,9	0,7

Adicionalmente rigen valores límite para humos según CEE R24 o similares.
(1) Está prevista una bonificación fiscal por el cumplimiento adelantado de los valores límite; azufre ≤ 0,05 % en peso: el valor límite para partículas había de ser comprobado hasta finales de 1993.
(2) Propuesta de valor límite para motores pequeños: 0,25 g/kWh para n_{nom} >3000 min⁻¹ y V_H ≤ 0,7 l/cilindro.

Curva de valores límite para humos diesel según CEE R24
Número mínimo de revoluciones ensayado: 0,45 · n_{nom} o al menos 1000 min^{-1}



Ciclos de ensayo y valores límite para Japón

Turismos

La concentración de los productos contaminantes gaseosos y de los sólidos en los gases de escape de motores diesel se miden en un ciclo 10.15 de ensayo. El ciclo de marcha fue ampliado (de forma similar como en Europa) con una parte de alta velocidad.

Los valores límite y las restricciones futuras están representados en la tabla 6.

Vehículos industriales

Las emisiones contaminantes son determinadas en un ensayo estacionario de 13 fases. Los puntos de funcionamiento, su secuencia y su ponderación difieren del ensayo europeo de 13 fases.

Los valores límite se indican en la tabla 7. Adicionalmente se limita el enturbiamiento de los gases de escape a plena carga.

Tabla 6. Valores límite para automóviles con ≤ 10 asientos
Ciclo de conducción del ensayo de 10.15 fases, ensayo de humos de 3 fases

Ciclo de marcha	Ensayo de 10.15 fases					Ensayo de 3 fases
Fecha	Peso del vehículo kg	HC g/km	NO_x g/km	CO g/km	Partículas g/kWh	Enturbiamiento de humos[1] %
Actualmente vigente[2]	≤1265 >1265	max./medio 0,62/0,4 0,62/0,4	max./medio 0,72/0,5 0,84/0,6	max./medio 2,7/2,1 2,7/2,1	0,2 0,2	40 40
previsto para aprox. 2000			0,4		0,08	25

(1) Valor límite para humos a carga plena o aceleración.
(2) Fecha de validez diferente para vehículos nacionales o importados.

Tabla 7. Valores límite para vehículos industriales. Peso total admisible >2,5 t.
Ciclo de marcha ensayo de 13 fases; ensayo de humos de 3 fases

Ciclo de marcha	Ensayo de 13 fases					Ensayo de 3 fases
Fecha	Tipo de motor	HC g/kWh	NO_x g/kWh	CO g/kWh	Partículas g/kWh	Enturbiamiento de humos[1] %
10.1994	DI[2] IDI[3]	2,9 2,9	6,0 5,0	7,4 7,4	0,7 0,7	40 40
previsto para aprox. 1999	–	–	4,5	–	0,25	25

(1) Valor límite para gas de humo a carga plena o aceleración.
(2) Motores de inyección directa, (3) Motores de cámara de combustión.

Ciclos de ensayo y valores límite para los EE.UU.

Turismos y vehículos industriales ligeros

Para turismos y vehículos industriales ligeros (peso total admisible <8500 lbs) está prescrito como programa de marcha el FTP 75 (Federal Test Procedure) (véase diagrama). El perfil de velocidades corresponde a la circulación en una ciudad de los EE.UU. y se realiza en un banco de pruebas de rodillos. Las emisiones se miden según el procedimiento CVS. La legislación sobre emisiones ha adquirido en EE.UU. tal complejidad, debido, entre otros, a opciones, diferentes requerimientos de durabilidad, cálculos de promedios ("Averaging"), compensación de emisiones en los cálculos de valores límite ("Crediting"), introducción escalonada de valores límite ("Phase-In") y regulaciones regionales para usuarios de flotas en regiones especialmente contaminadas, que solo es posible dar aquí una descripción muy sucinta. Los valores recopilados en la tabla 8 indican la opción admisible para turismos.

Vehículos industriales

Los motores para camiones pesados se comprueban en un banco de pruebas según un ciclo de marcha no estacionario (Transient Cycle) y las emisiones también se miden según el principio CVS. El ciclo de comprobación imita el funcionamiento de un motor en condiciones de tráfico real en carretera. Paralelamente se comprueba el enturbiamiento de los gases de escape en funcionamiento dinámico y casi estacionario en un ulterior ensayo (Federal Smoke Cycle) (véase tabla 9).

Aparatos de medición de gases de escape

La medición de gases de escape de motores diesel en el servicio técnico y en los controles en carretera se concentran en la determinación de las emisiones de hollín. Para ello son usuales principalmente dos procedimientos:

En el método de filtro se hace pasar una cantidad determinada de gases de escape a través de un filtro. El ennegrecimiento del filtro sirve de escala para la determinación de la proporción de hollín en los gases de escape. En el método de absorción (método de enturbiamiento) el debilitamiento de un rayo luminoso que se hace que atraviese los gases de escape, sirve como medida de la concentración de hollín. La medición de los gases de escape de un motor diesel solamente tiene sentido bajo carga, porque sólo en campo de funcionamiento se emiten partículas. También aquí son usuales dos procedimientos:

- medición bajo plena carga, p.ej. en un banco de pruebas de rodillos o en un circuito certificado de ensayos, contra los frenos del vehículo.
- medición a aceleración libre mediante un empuje definido sobre el pedal de marcha con carga por la masa de inercia del motor a altas revoluciones.

Los resultados de las mediciones de gases de escape de motores diesel dependen del procedimiento de medición así como también del tipo de carga, y generalmente no son directamente comparables entre sí.

Comprobador de gases de escape (medición del enturbiamiento)

Durante la medición mediante una sonda de extracción y un tubo, una bomba extrae una corriente parcial de los gases de escape, hacia la cámara de medición. Este procedimiento evita en especial las influencias de la presión de los gases de escape y sus variaciones en el resultado de la medición. En la cámara de medición un rayo luminoso atraviesa los gases de escape aspirados. La intensidad de luz se mide de manera fotoeléctrica e indicada en % de enturbiamiento T o como coeficiente de absorción k. Las condiciones para una alta exactitud de medición y una buena reproducibilidad de los resultados son una longitud definida de la cámara de medición y una limpieza térmica de la mirilla de dicha cámara.

En comprobaciones bajo carga se mide e indica de forma continua. En aceleración libre se registra digitalmente la curva completa de aceleración; el propio comprobador evalúa el valor punta y calcula el valor promedio de varias impulsiones de gas.

Comprobador de gases de escape (método de filtro)

El dispositivo de medición aspira una cantidad predeterminada de gases de escape diesel a través de una tira de papel filtro. Como premisa de una reproducibilidad exacta de los resultados se mide el volumen aspirado en cada medición y se convierte en valor teórico. También se tienen en cuenta las influencias de la presión y temperatura y el volumen muerto entre la sonda de extracción y el papel filtro.

La evaluación del papel filtro ennegrecido se efectúa de forma optoelectrónica mediante un fotómetro de reflexión. La indicación se efectúa en números Bosch de ennegrecimiento (SZ) o como concentración de masas (mg/m³).

Tabla 8. Valores límite de gases de escape de turismos

Ciclo de marcha US FTP 75; Fed. = 49 estados, Cal. = California						
Año del modelo	HC g/milla	NMHC[1] g/milla	NO_x g/milla	CO g/milla	Partículas g/milla	Durabilidad millas
1887 Fed.	0,41	–	1,0	3,4	0,20	50 000
1989 Cal.	0,46	–	1,0	8,3	0,08[2]	100 000
1993 Cal.[3]	–	0,31	1,0	4,2	0,08[2]	100 000
1994 Fed.[4]	–	0,25	1,0	3,4	0,08	50 000
1994 Fed.[4]	–	0,31	1,25	4,2	0,10	100 000

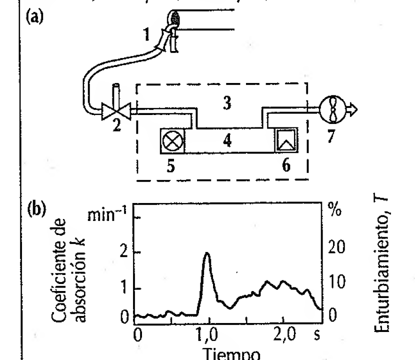
[1] HC sin metano; [2] Para partículas: durabilidad 50 000 millas; [3] A partir de modelos del año 1993 un 40% de la producción prevista debe cumplir con los nuevos valores límite, 1994: 80%, 1995: 80%, 1996: 100%. [4] A partir de modelos del año 1994 un 40% de la producción prevista debe cumplir con los nuevos valores límite, 1995: 80%, 1996: 100%.

Tabla 9. Valores límite de gases de escape para vehículos industriales pesados (peso total admisible >8.500 lbs)

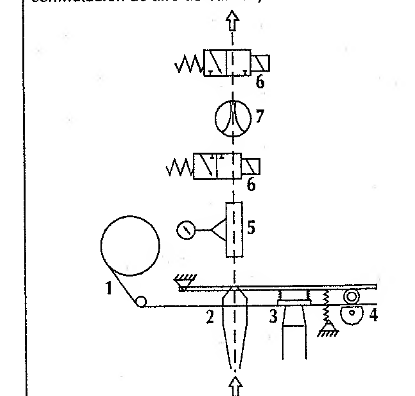
Año del modelo	HC g/bhp · h	NO_x g/bhp · h	CO g/bhp · h	Partículas g/bhp · h	Humos % enturbiamiento
1990	1,3	6,0	15,5	0,6	A: aceleración: 20%
1991...93	1,3	5,0	15,5	0,25[1]	B: desaceleración a plena carga: 15%
1994...97	1,3	5,0	15,5	0,1[2]	C: Punta máx. de humos: 50%
1998	1,3	4,0	15,5	0,1	

[1] Autobuses ciudad 0,1 g/bhp · h (1993), [2] Autobuses ciudad 0,07 g/bhp · h, a partir de 1996 0,05 g/bhp · h

Comprobador de gases de escape (medición del enturbiamiento)
(a) Principio, (b) Medición de impulsos de gas.
1 Sonda de extracción, 2 Válvula de conmutación de aire de barrido, 3 Cámara de medición, 4 Trecho de medición, 5 Lámpara, 6 Receptor, 7 Bomba



Comprobador de gases de escape (método de filtro)
1 Papel filtro, 2 Paso de gases, 3 Fotómetro, 4 Arrastre del papel, 5 Medición del volumen, 6 Válvulas de conmutación de aire de barrido, 7 Bomba



Instalaciones auxiliares de arranque

La disposición de arranque de los motores diesel se reduce a bajas temperaturas. Además el incremento del par de rozamiento, las pérdidas por fugas y de calor en la compresión del aire reducen la presión de la compresión y la temperatura, hasta tal punto que el arranque sin instalaciones auxiliares no sería posible. Además la temperatura límite para un arranque depende del tipo de motor. Los motores de inyección directa (Motores DI con cámara de combustión común) tienen pérdidas de calor menores los que motores con antecámara o con cámara de turbulencia (con cámara de combustión partida) y con ello un mejor comportamiento para el arranque. En el caso de antecámaras o cámaras de turbulencia la bujía de incandescencia sobresale hacia las cámaras citadas; en el caso de motores DI sobresale en la cámara de combustión del motor.

En motores DI de gran cilindrada se efectúa un calentamiento previo del aire aspirado mediante bujías de incandescencia de inflamación o de precalentamiento o con una brida de calefacción.

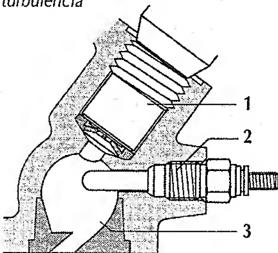
Bujías de incandescencia de espiga

La función de la bujía de incandescencia de espiga se divide en el tiempo en dos fases:

Fase de arranque: la bujía se tiene que calcular en el menor tiempo posible a la temperatura requerida para el arranque (aprox. 850 °C). Está situada en una zona de la cámara de combustión, en el cual se

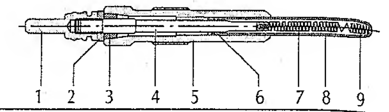
Disposición de la bujía de incandescencia en la cámara de turbulencia

1, Inyector, 2 Bujía de incandescencia de espiga, 3 Cámara de turbulencia



Bujía de incandescencia de espiga

1 Enchufe de conexión, 2 Arandela aislante, 3 Junta doble, 4 Espiga de conexión, 5 Cuerpo, 6 Junta del cuerpo calefactor, 7 Filamento de calefacción y filamento de regulacióon, 8 Tubo incandescente, 9 Polvo de relleno



forma una mezcla inflamable. En las bujías modernas de incandescencia la temperatura requerida se alcanza aprox. a los 4 segundos.

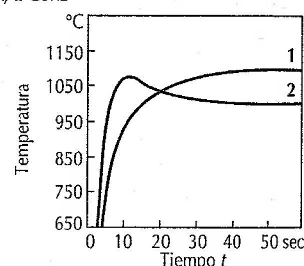
Fase de incandescencia residual: después del arranque la bujía continúa activada para mejorar el aumento de revoluciones y reducir las emisiones de humo azul y los ruidos de la combustión durante el calentamiento. Estos tiempos duran en la marcha un máximo de 180 segundos.

Estructura y características

La espiga de incandescencia lleva un calentador tubular, prensado en el cuerpo de bujía de forma firme y estanca a los gases. El calentador tubular es un tubo resistente a los gases calientes y a la corrosión, que lleva en su interior un filamento de incandescencia rodeado de polvo comprimido de óxido de magnesio. El filamento de incandescencia consta en sí de dos resistencias conectadas en serie: el filamento de calefacción situado en la punta de la bujía de incandescencia, que tiene una resistencia eléctrica independiente de la temperatura de su entorno, y de un filamento de regulación de material con coeficiente de temperatura positivo.

Temperaturas de las bujías de incandescencia de espiga en función del tiempo con aire en reposo

1 S-RSK, 2 GSK2



Para puesta a tierra, el filamento de calefacción va soldado en la cabeza del tubo de incandescencia, y el de regulación unido a la espiga de conexión, a través de la cual se toma la corriente a la red de a bordo.

Función

Al aplicarse la tensión a la bujía de incandescencia de espiga, primeramente la mayor parte de la energía la transforma en calor el filamiento de calefacción; con ello la temperatura en la punta se incrementa fuertemente. De forma retrasada en el tiempo, la temperatura del filamento de regulación aumenta también y con ello la resistencia. La absorción de corriente, y con ésta la potencia total de la bujía se reducen y la temperatura se acerca al régimen constante. Con el correspondiente dimensionado resultan las características de calentamiento reseñadas.

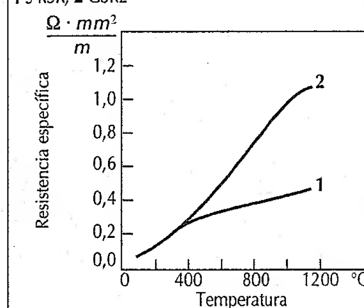
Bujías de incandescencia de espiga GSK2

El filamento de regulación en las tradicionales bujías de incandescencia de espiga S-RSK es de níquel y en las bujías GSK2 de incandescencia de espiga de la segunda generación es una aleación de Co-Fe. El diagrama representa las resistencias específicas en función de la temperatura para los dos materiales del filamento de regulación.

La GSK2 se distingue por alcanzar rápidamente la temperatura de arranque y por una temperatura de régimen constante reducida. Así se logra la reducción del tiempo de incandescencia previa en el arranque y la fase de incandescencia residual.

Resistencia específica del filamento de regulación en función de la temperatura

1 S-RSK, 2 GSK2



Temperaturas en el motor

Las temperaturas en la bujía de incandescencia de espiga varían según el trabajo del motor. Como ejemplo se representan las temperaturas de funcionamiento estacionario en una bujía de incandescencia de espiga accionada por una batería de 13,5 voltios en un motor de inyección directa. Las temperaturas máximas se producen a revoluciones reducidas y alta carga (reducido caudal de aire, reducida refrigeración de la GSK). Por el contrario, en los de antecámara y de cámara turbulencia la temperatura máxima se produce con alta carga y alto número de revoluciones.

Dispositivo regulador del tiempo de incandescencia

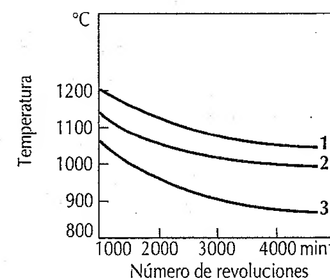
Una instalación completa de incandescencia consta de bujías de incandescencia de espiga o de inflamación y de una unidad para la regulación del proceso de incandescencia. Mientras que en las bujías de inflamación todavía hoy un interruptor de bimetal regula la indicación de la disposición de arranque, se emplean dispositivos de mando electrónicos en instalaciones de bujías de incandescencia de espiga. Aparte de la predeterminación de los tiempos de incandescencia y la regulación de la luz de indicación de la disposición de arranque, estos dispositivos también ofrecen funciones de protección y de supervisión.

Estructura

Un dispositivo de regulación del tiempo de incandescencia consta en esencia de los relés de potencia para la conexión de las

Temperaturas de la bujía de incandescencia de espiga en el motor DI

1, Plena Carga, 2 Media carga, 3 Sin carga



corrientes de las bujías, una electrónica para regular de la duración de la incandescencia y la indicación de la disposición de arranque así como también de los elementos para las funciones de protección. Un cuerpo de plástico, en el montaje habitual en el compartimiento del motor, protege contra polvo y agua. El dispositivo de regulación del tiempo de incandescencia tiene las siguientes entradas:

- borne positivo de batería 30,
- borne puesta a tierra 31,
- borne interruptor comienzo de incandescencia 15,
- borne regulación arranque 50,
- sensor de temperatura NTC (sólo parcialmente),
- interruptor de carga LS (sólo parcialmente),

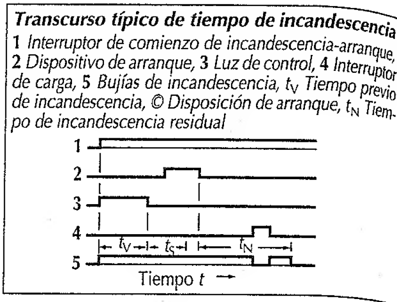
y las salidas:

- luz de control de arranque La,
- conexiones de bujías de incandescencia de espiga G1 a G6.

Dispositivos con función simple

Un sensor de temperatura incorporado en el dispositivo de regulación del tiempo de incandescencia, regula la duración del tiempo de incandescencia previa requerido. La duración lleva la temperatura de la bujía, a la necesaria para un buen arranque, en toda combinación entre motor y bujía de incandescencia de espiga. Al terminar el tiempo de incandescencia previa la luz de control se apaga e indica así la disposición para el arranque. La incandescencia dura hasta el accionamiento de la instalación de arranque o hasta finalizar un tiempo de desconexión de seguridad, lo cual limita la carga sobre las bujías de incandescencia y sobre la batería. Un fusible de cinta protege contra cortocircuitos.

Transcurso típico de tiempo de incandescencia
1 *Interruptor de comienzo de incandescencia-arranque,* **2** *Dispositivo de arranque,* **3** *Luz de control,* **4** *Interruptor de carga,* **5** *Bujías de incandescencia,* t_V *Tiempo previo de incandescencia, © Disposición de arranque,* t_N *Tiempo de incandescencia residual*



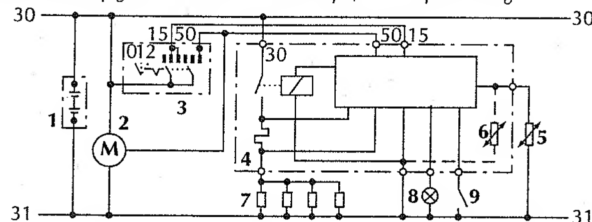
Dispositivos con función ampliada

Para una regulación más exacta un sensor en el motor (NTC del agua de refrigeración) mide los tiempos de incandescencia. El dispositivo de regulación del tiempo de incandescencia tiene en cuenta las diferentes tensiones de la batería, corrigiendo la duración de la incandescencia. Durante el tiempo de incandescencia residual, después del arranque, continúa pasando corriente a las bujías de incandescencia. Mediante un interruptor, que depende de la carga del motor, se puede interrumpir o finalizar el proceso de incandescencia. Una desconexión electrónica protege contra sobretensión o cortocircuito. Una conexión de supervisión reconoce el fallo de bujías de incandescencia o errores del relé y avisa por medio de la luz de control de disposición de arranque.

Dispositivos con regulación centralizada de la función de incandescencia

Estos dispositivos reciben las informaciones sobre cuando debe o no producirse incandescencia directamente de la electrónica central del motor. Hacia allí el dispositivo de incandescencia comunica también los fallos detectados por él, mediante una línea de diagnóstico.

Instalación de incandescencia y de arranque para motores diesel
1 *Batería,* **2** *Motor de arranque,* **3** *Interruptor de encendido-arranque,* **4** *Dispositivo de regulación del tiempo de incandescencia,* **5** *Sensor de temperatura del líquido de refrigeración,* **6** *Sensor de temperatura interno (alternativo a 5),* **7** *Bujías de incandescencia de espiga,* **8** *Luz de control de arranque,* **9** *Interruptor de carga*



Instalación de arranque

Las instalaciones de arranque para motores de combustión se componen, por lo general, de un motor de corriente continua alimentado por la batería (motor de arranque o "estarter"), los aparatos de conmutación y regulación y del cableado. El número inicial de revoluciones necesario para que arranque el motor (en los motores Otto entre 60 y 100 min^{-1}; en los motores Diesel entre 80 y 200 min^{-1}) es notablemente inferior al número de revoluciones del motor de arranque. El acoplamiento se realiza mediante una relación de transformación adecuada (aprox. 1/10 a 1/20) del reductor, formado por el piñón del motor de arranque y la corona dentada del motor.

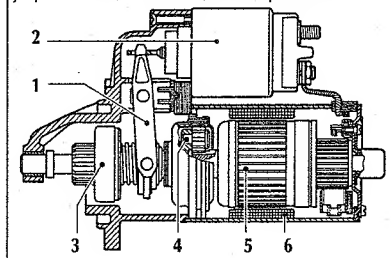
Magnitudes influyentes

El par de giro del cigüeñal y el número de revoluciones mínimo dependen, entre otros, del tipo de motor, de la cilindrada, del número de cilindros, de la compresión, del rozamiento de los cojinetes, de las cargas adicionales arrastradas, de la preparación de la mezcla, del aceite del motor y de la temperatura.

En general, al descender la temperatura hace falta un par de giro mayor y más revoluciones para el arranque, por lo que se necesita una potencia de arranque superior.

La resistencia interna de la batería aumenta a medida que se descarga y al descender la temperatura. La tensión al ralentí es menor a temperaturas inferiores. La tensión en los bornes de la batería es también menor, cuanto mayor es la corriente absorbida y más baja la temperatura. Además, la capacidad de la batería es también menor al descender la temperatura y aumentar la corriente de descarga. De una batería se puede pues extraer tanta menos potencia cuanto más baja sea la temperatura. Junto a las características del motor determinadas por su tipo de construcción, es de capital importancia para el dimensionado de una instalación de arranque la temperatura límite más baja que se precisa para el arranque.

Motor de arranque de campo permanente con tren de engranajes
1 *Palanca de engrane,* **2** *Imán de engrane y relé,* **3** *Piñon libre con el piñon,* **4** *Tren de engranajes (engranajes planetarios),* **5** *Inducido,* **6** *Imán permanente*



Dispositivo de arranque o "estarter"

Consta de los siguientes elementos básicos:

- Motor eléctrico
- Sistemas de engrane
- Marcha libre

cuyas misiones vienen dadas por el desarrollo del proceso de arranque.

Para empezar, el piñón tiene que engranar en la corona dentada. Después de arrancar el motor se puede acelerar rápidamente a un elevado número de revoluciones. Un piñón libre elimina la unión de fuerza entre el piñón y el inducido cuando el motor ya ha arrancado, aunque el piñón está todavía engranado. Así se evita la destrucción del inducido por la fuerza centrífuga.

Motor eléctrico

En la mayoría de los casos se utiliza un motor de excitación en serie de corriente continua, que posee un gran par de giro para el arranque del motor de combustión y un elevado número de revoluciones en vacío para sostener la aceleración durante el mismo. A potencias mayores del motor de arranque un devanado adicional en paralelo permite en el momento del engrane un proceso suave y en el de arranque un limite al número de revoluciones en vacío del motor de arranque.

El nivel alcanzado actualmente en la tecnología de las ferritas permite también los motores de arranque de desmagnetización segura con excitación con imán permanente.

Se obtiene una reducción del peso y del espacio de montaje del motor de arranque, cuando la potencia para el arranque se produce con un número más elevado de revoluciones del inducido, pero con un par de giro menor. Para ello hay que aumentar la

relación total de transmisión entre cigüeñal e inducido del motor de arranque, pero como el diámetro de la corona dentada no se puede aumentar, la mayor relación total de transmisión se consigue por medio de una etapa de engranajes adicional incorporada al motor de arranque (motor de arranque con tren de engranajes).

Sistemas de engrane

Motor de arranque con accionamiento helicoidal

El accionamiento helicoidal es el sistema de arranque más sencillo (por ejemplo, para cortadoras de césped). Una rosca pronunciada (helicoidal) en el eje desplaza un piñón libre al girar respecto al inducido.

Al conectar el motor de arranque, primeramente gira el inducido sin carga. El piñón y el sistema de piñón libre, debido a su momento de inercia, todavía no giran pero se desplazan hacia adelante por la rosca pronunciada. Tan pronto como el piñón engrana en la corona dentada queda además sujeto y desplazado más hacia adelante, hasta quedar contra el anillo de tope. Desde este instante en adelante el sistema helicoidal transmite el par de giro del inducido a través del piñón a la corona dentada y el motor da vueltas.

Cuando éstas superan a las del motor de arranque la rueda libre elimina la unión de fuerza y el rozamiento en el piñón libre trata de acelerarlo por el número de revoluciones del inducido. Entonces la rosca helicoidal desplaza hacia atrás al piñón libre con el piñón. Este proceso de desengrane viene ayudado por el muelle recuperador, que mantiene además al piñón separado de la corona cuando el motor de arranque está parado.

Motor de arranque preconectado (avance por husillo)

Un mecanismo de avance por husillo engrana el piñón por medio de un electroimán de acoplamiento en la corona dentada. Dicho imán tiene contactos conmutadores para la corriente del motor de arranque.

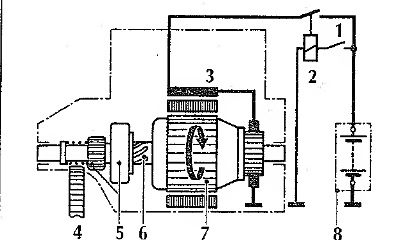
Cuando se cierran los contactos, el devanado de sujeción del relé H queda conectado y pasa la corriente además por la conexión en serie del devanado de impulsión E y por el motor eléctrico. El electroimán atrae y mueve hacia adelante el sistema de piñón libre con piñón a través de la palanca y muelle de engrane.

En una posición favorable de piñón y corona dentada, un diente del piñón engrana inmediatamente en un hueco del dentado. En tal caso el piñón engrana hasta que alcanza el final de la carrera de avance y el puente de contacto toca los contactos del relé y el motor de arranque queda conectado.

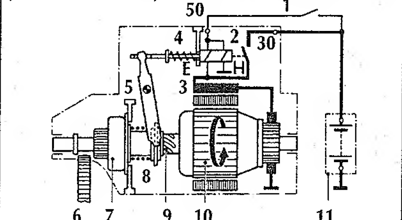
En el caso que el piñón no encuentre inmediatamente un hueco del dentado, la corona dentada le impide seguir avanzando. Entonces la palanca de engrane comprime al muelle de engrane, y el contacto principal se cierra sin que el piñón y la corona dentada engranen. Entonces el motor eléctrico gira al piñón a lo largo del lateral de la corona dentada, hasta colocarlo adelante de un hueco entre dientes de la corona y el muelle empuja hacia delante al piñón y el piñón libre.

Cuando se desconecta el devanado del relé, el muelle recuperador empuja al inducido del relé y al piñón con piñón libre a su posición de reposo. Esta operación de desengranado viene apoyada por la rosca helicoidal durante el paso del piñón de una posición a otra.

Béndix (esquema) del motor de arranque
1 Conmutador del arranque, 2 Relé del arranque, 3 Devanado de excitación, 4 Corona dentada, 5 Piñon con piñon libre, 6 Rosca de paso grande, 7 Inducido, 8 Batería



Motor de arranqe de accioamiento helicoidal con desplazamiento (esquema)
1 Conmutador del aranque, 2 Relé de acoplamiento forzado, 3 Devanado de excitación, 4 Palanca de acoplamiento, 5 Corona dentada, 6 Piñón con sistema de piñon libre, 7 Rosca pronunciada, 8 Inducido, 9 Batería

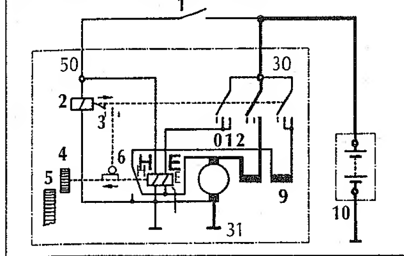


Motor de arranque de desplazamiento y conmutación en dos etapas

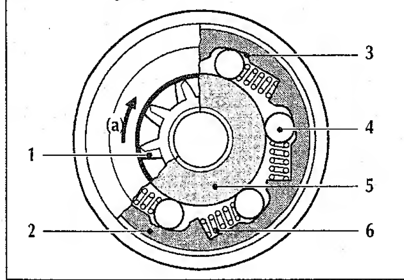
El sistema de desplazamiento axial conmuta el motor de arranque en dos etapas.

Al cerrarse el interruptor del arranque se ponen en paralelo con la tensión de la batería el devanado de sujeción H y el relé de maniobra. Este último se excita pero se mantiene fijo en la posición de contacto 1 (primera etapa) por medio de la palanca de bloqueo y el trinquete. El devanado de arrastre E del relé de engrane y el devanado en paralelo del motor permanecen en paralelo, pero en serie con el inducido, con respecto a la tensión de la batería. El motor de arranque empieza a girar, pero sólo con un par de giro pequeño a causa de las elevadas resistencias del devanado anterior del inducido. Al mismo tiempo el relé de engrane desplaza el piñón hacia la corona dentada y lo engrana con cuidado con un par pequeño. Poco antes del final del recorrido total de engrane, el relé de engrane suelta el bloqueo del relé de maniobra, que salta a la posición de contacto 2 (segunda etapa), con lo que la corriente del motor de arranque pasa el devanado en serie y el inducido. El conmutador del relé de engrane pone al devanado en derivación en paralelo con el inducido y con el devanado en serie. El motor de arranque desarrolla su par completo.

Motor de arranqe de desplazamiento axial *(circuito)*
1 Conmutador del motor de arranque, 2 Relé de maniobra, 3 Trinquete, 4 Piñón, 5 Corona dentada, 6 Conmutador, 7 Imán de engrane, 8 Devanado en serie, 9 Devanado en derivación, 10 Batería



Rueda libre de rodillos
1 Piñon, Anillo de rueda libre, 3 Leva de sujeción de rodillos, 4 Rodillo, 5 Eje del piñón, 6 Muelle,
(a) Sentido de giro



Sistema de piñón libre

Los piñones libres protegen al inducido del motor de arranque contra las revoluciones del motor del vehículo cuando éstas sobrepasan a las suyas.

Rueda libre de rodillos

Los motores de arranque pequeños y medianos, por regla general, tienen un sistema de escape en el cual se comprimen unos rodillos por medio de muelles en unos espacios cónicos, entre el anillo del escape y el eje del piñón, y que cuando se carga el motor de arranque se quedan fijados en su lugar y transmiten el par de giro del anillo al eje del piñón.

Al invertirse el sentido de la carga mecánica se elimina la fuerza de cierre por aprieto.

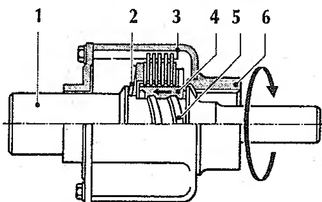
Embrague de discos múltiples

El embrague de discos múltiples encuentra utilización en los motores de arranque grandes de vehículos industriales. La pieza de arrastre con los discos exteriores y el inducido del motor de arranque, o sea, el eje impulsor, y el piñón están unidos con arrastre de forma. Los discos interiores se apoyan en una tuerca de presión que se desliza longitudinalmente o axialmente por la rosca pronunciada del eje de accionamiento. Si no hay carga, el conjunto de discos está ligeramente pretensado por un muelle y sólo puede transmitir pequeños pares. Al aumentar la carga se desplaza la tuerca de presión por la rosca pronunciada hacía el muelle de presión, que se lanza y quedan con ello los discos más comprimidos, más fijos. El embrague de discos transmite pues al aumentar la carga del motor de arranque un par de giro cada vez mayor.

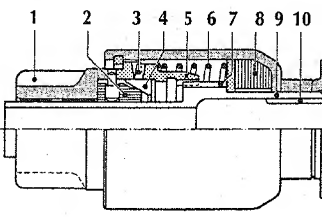
Piñón libre de dentado recto
El piñón libre de dentado recto se emplea también para el arranque de vehículos industriales grandes.

Todo el sistema está unido en el alojamiento mediante un dentado recto con el eje del inducido y puede desplazarse axialmente (engrane). El alojamiento tiene en el exterior una rosca helicoidal de gran paso que transmite el par de giro a una tuerca de embrague, la cual a su vez lo transmite al piñón por los flancos fuertemente inclinados de un dentado recto en forma de dientes de sierra. Al sobrepasar la velocidad, el piñón empuja hacia atrás a la tuerca de embrague y separa el embrague, con la ayuda de los flancos planos del dentado recto. El anillo de desembrague es desplazado axialmente por unas masas centrífugas que empujan hacia fuera y así mantiene desacoplado al dentado recto. A números de revoluciones menores del piñón la fuerza centrífuga de las masas ya no es suficiente para mantener desacoplado el dentado recto y el muelle acopla la tuerca de embrague al piñón.

Embrague de discos múltiples
1 *Eje de impulsión (unido al piñón),* **2** *Muelle de presión,* **3** *Pieza de arrastre con los discos exteriores,* **4** *Tuerca de presión con los discos interiores,* **5** *Rosca inclinada,* **6** *Lado de accionamiento (unido al inducido)*



Piñón libre de dentado recto
1 *Piñón,* **2** *Masa centrífuga,* **3** *Dentado recto,* **4** *Anillo de desacoplamiento,* **5** *Tuerca de embrague,* **6** *Muelle,* **7** *Rosca inclinada,* **8** *Amortiguador,* **9** *Alojamiento,* **10** *Dentado recto*



Protección del motor de arranque

La potencia del motor de arranque también depende del tamaño de la batería del vehículo. La solicitación térmica de las piezas atravesadas por la corriente y la carga mecánica de las piezas que transmiten el par de giro aumentan con el tamaño de la batería. Por tal razón, para cada tipo de motor de arranque se determina un tamaño de batería máximo admisible. Si bien el motor de arranque está previsto sólo para breves tiempos de funcionamiento, se tiene que calcular para bajas temperaturas con mayor tiempo de funcionamiento y por ello para elevadas cargas térmicas.

Al utilizarse baterías de mayor tamaño deberían hacerse pues unas pausas apropiadas después de efectuar tiempos más prolongados de accionamiento del "estarter". En motores de arranque grandes unos interruptores térmicos integrados (p.ej. en las escobillas) impiden tiempos de funcionamiento excesivos. En las instalaciones de arranque con mando a distancia (p.ej. en autocares con un motor trasero, grupos electrógenos de emergencia, automotores diesel, etc.) el proceso de arranque no siempre puede ser vigilado por el conductor.

El funcionamiento en malas condiciones puede perjudicar al motor de arranque o a la corona dentada.

Relé de bloqueo de arranque
Protege contra el engrane erróneo con el motor en marcha o el mantenimiento del engrane cuando el motor ya está en marcha con éxito. Para esto se utiliza la tensión del generador, que aumenta con el número de revoluciones del motor, como magnitud indicadora de la evolución del mismo. Cuando el motor se está parando, cuando el generador ya no puede proporcionar ninguna "señal" de tensión aprovechable, un temporizador en el relé de bloqueo de arranque bloquea la instalación durante algunos segundos para otros intentos de engrane.
Relé de repetición de arranque interrumpe el proceso del arranque cuando el piñón no engrana bien en la corona dentada a pesar de todas las ayudas, pero el motor de arranque permanece conectado. Se evita así la sobrecarga prolongada de corriente en el devanado de introducción del relé de engrane.

Accionamientos eléctricos

Como accionamiento alternativo, el eléctrico es idóneo para todos los vehículos en los que se pida un nivel reducido de ruido, ausencia de gases de escape y donde basta con una autonomía comparativamente pequeña.

Según sea su misión se dividen en vehículos de carretera que están concebidas para tareas de transportes internos de las empresas y generalmente no están autorizadas para circular por la vía pública. Su velocidad máxima está por debajo de los 50 km/h. Mientras que en dichos vehículos de transporte en superficie más de la mitad ya viene equipada con accionamiento eléctrico, los vehículos de carretera todavía tienen representan una proporción muy pequeña con accionamiento eléctrico.

Abastecimiento eléctrico

Para el parque hoy imaginable de vehículos eléctricos para carretera ya se dispone de la infraestructura necesaria para el abastecimiento eléctrico.

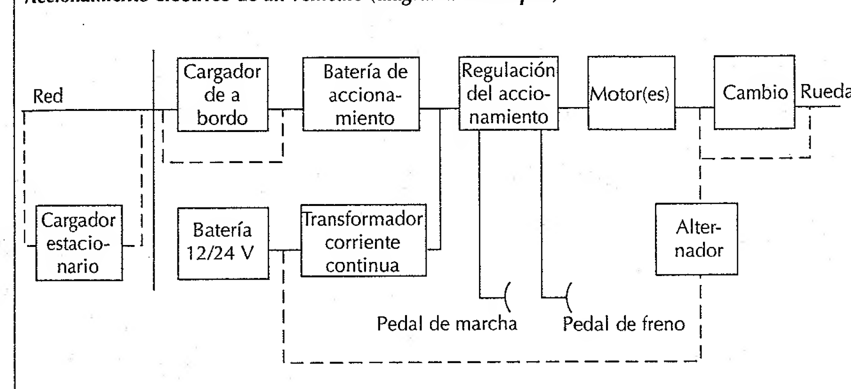
En Alemania ya hoy podrían ser abastecidos con energía eléctrica más de 10 millones de vehículos eléctricos, sin que se tenga que construir ninguna otra central eléctrica, suponiendo que la carga se efectuase por la noche. Unos 10 millones de automóviles necesitarían sólo un 5% de la producción eléctrica de Alemania.

Un automóvil con accionamiento eléctrico o un pequeño furgón pueden ser cargados en cualquier enchufe doméstico. Estos enchufes con el fusible conectado de forma posterior, da una potencia máxima de hasta 3,7 kVA. Teóricamente, un cargador de a bordo integrado en el vehículo podría cargar una batería de 10 kWh en unas 4 horas. Pero considerando las curvas características de carga de las baterías, resultan sin embargo tiempos mayores de carga; para el ejemplo citado dicho tiempo estaría entre 6 y 8 horas. Las conexiones con corriente trifásica permiten tiempos de carga marcadamente inferiores, tal como se acostumbra p.ej. en las carretillas de transporte en superficie. Con determinados tipos de baterías se pueden reducir notablemente los tiempos de carga.

Baterías

Para vehículos de transporte en superficie y también para los de carretera, hoy predomina el uso de baterías de plomo/ácido. Aparte de dichas baterías de plomo/ácido se emplean también las de níquel/cadmio para aplicaciones de tracciones, como p.ej. en sistemas de transporte sin conductor. Una serie de otros tipos de baterías están ante el umbral de su producción en serie.

Accionamiento eléctrico de un vehículo (diagrama de bloques)



Batería de plomo/ácido

En principio la estructura de la batería plomo/ácido equivale a la de una batería de sistema de arranque (pág. 803). Sin embargo la composición del material y la ejecución real de los elementos son adaptados a las exigencias de transporte. Las baterías usuales en el sector de los vehículos de transporte en superficie constan de celdas individuales, mientras que en los vehículos de carretera se ha impuesto la forma constructiva en módulos, con 3 a 6 vasos cada uno, debido a la mayor densidad energética.

En los vehículos de transporte en superficie principalmente se emplean baterías de plomo con electrólito líquido, en las cuales regularmente se tiene que reponer agua. En vehículos eléctricos de carretera no se puede pedir este tipo de mantenimiento. Para ellos se ha impuesto la batería de plomo con electrólito sólido, que no precisa mantenimiento durante su vida útil.

Los vehículos eléctricos de carretera equipados con baterías de plomo tienen una autonomía, en condiciones normales de marcha, de 50 a 70 km por cada carga de baterías. La autonomía durante una jornada se puede prolongar notablemente con cargas intermedias.

La cantidad de energía que se puede obtener de una batería de plomo se reduce si baja la temperatura. Según sean las condiciones climáticas, esto hace necesario la calefacción de la batería para evitar disminuciones de autonomía. Debido a la gran capacidad térmica de la batería, el calentamiento producido durante la carga generalmente es suficiente.

En las baterías de plomo el electrólito participa en la reacción química, por lo cual la capacidad de energía que se puede desprender depende del tiempo de descarga. Si p.ej. se reduce el tiempo de descarga de dos a una hora, la capacidad que se puede desprender se reduce en un 20%. Así, la capacidad de la batería solamente se puede aprovechar en un 100% mediante un tiempo de descarga apropiado.

En el sector de transporte en superficie son posibles vidas útiles de 7 a 8 años con 1200 a 1500 ciclos. Los ensayos con flotas de vehículos han demostrado que en automóviles con baterías de plomo se puede alcanzar una vida útil de 5 años o 700 ciclos. Muchas baterías de plomo, sin embargo, tienen una vida útil en carretera de sólo un año. Las causas de ello residen en los requerimientos específicos mucho mayores a la batería por parte del funcionamiento en carretera. En los vehículos de carretera el tiempo medio de descarga está alrededor de las 2 horas o menos, mientras que en los vehículos de transporte en superficie alcanza normalmente las 7 a 8 horas.

Sistemas de baterías (Tiempo de descarga 2 h/tiempo de carga 8 h)

	Gel de plomo	Sistemas de batería de níquel	Sistemas de baterías de sodio	Sistemas de baterías de litio
Tensión en el elemento	2 V	1,2 V	2...2,5 V	3,5 V
Densidad de potencia	25...30 Wh/kg	50...80 Wh/kg	90...100 Wh/kg	ca. 100 Wh/kg
Rendimiento energético sin calefacción	70...85 %	60...85 %	80...90 %	85...90 %
Vida útil en ciclos	600...900	previsto 1000...2000	previsto 1000	previsto >1000
Sin mantenimiento	sí	según ejecución	sí	sí
Temperatura de funcionamiento	0...55 °C	-20...55 °C	300...380 °C	-20...60 °C

Ejemplos de vehículos eléctricos

	Tipo de batería	Aceleración	Velocidad máx.	Autonomía típica por carga	Peso en vacío	Carga útil	Consumo típico de energía desde la red
Turismo	Gel de plomo	12 s	100 km/h	60 km	1500 kg	350 kg	25 kWh/100 km
Turismo	Ni/Cd	9 s	90 km/h	80 km	1050 kg	300 kg	18 kWh/100 km
Furgoneta	Plomo/ácido	12 s	80 km/h	70 km	2400 kg	800 kg	40 kWh/100 km

Sistemas de baterías de níquel

El sistema de baterías de níquel/cadmio con electrólito alcalino se utiliza hoy ampliamente en baterías de maquinaria. Mientras que aquí se utiliza principalmente un sistema cerrado, en las aplicaciones de tracción se emplea a menudo la celda abierta de níquel/cadmio.

La reducida tensión en los elementos de 1,2 V requiere una proporción mayor de componentes no activos, para p.ej. un módulo de 6 V, que una batería de plomo. Parece posible una vida útil de hasta 10 años o aprox. 2000 ciclos, pero todavía falta la comprobación práctica con vehículos. Esta mayor vida útil podría también compensar los mayores costes de fabricación, debidos a las materias primas más caras y a un proceso de fabricación más complejo. Las baterías de níquel/cadmio, si se usan en vehículos de carretera hay que refrigerarlas. La calefacción sólo es necesaria con temperaturas inferiores a –20 °C. La capacidad que se puede extraer es prácticamente independiente del tiempo de descarga.

La mayor densidad de carga de las baterías alcalinas puede utilizarse para aumentar la carga útil del vehículo o bien para aumentar la autonomía. Los valores típicos de autonomía de los automóviles con baterías de níquel/(cadmio están entre 80 y 100 km.

Un desarrollo nuevo muy prometedor de batería es el sistema de níquel/metal hidruro: el cadmio es reemplazado por hidrógeno. El hidrógeno necesita un medio de acumulación consistente en varios metales. Este tipo de batería tiene una vida útil y una densidad de carga mayores que las baterías de níquel/cadmio. Los sistemas de baterías con níquel poseen una alta densidad de potencia que las hace interesantes para vehículos con accionamiento híbrido.

Sistemas de baterías de sodio

Tanto la batería de sodio/cloruro de níquel como la de sodio/azufre tienen electrólito sólido de cerámica de aluminio conductora de iones.

Los electrodos, que son sólidos a temperatura ambiente, deben ser licuados con una alta temperatura de funcionamiento para que puedan participar en la reacción química. La temperatura normal de funcionamiento en ambos sistemas es de aprox. 300 °C, quedando capaz de funcionar el sistema de sodio/cloruro de níquel a temperaturas inferiores que el sistema de sodio/azufre. Para mantener las pérdidas de calor dentro de límites razonables, se precisa de un "superaislamiento". En estos sistemas la batería consta de una multitud de celdas individuales que pueden estar conectadas en serie o en paralelo. En la batería de sodio/cloruro de níquel es posible la conexión en serie de todos los elementos, ya que si uno de ellos falla, se convierte en conductor. En la batería de sodio/azufre un elemento que falla se hace en cambio muy resistente. Ambos sistemas de batería son sin mantenimiento y estancas al gas. Durante amplios ensayos de seguridad ambos sistemas de baterías han demostrado su aptitud para vehículos de carretera.

Con baterías de sodio se pueden realizar vehículos cuya autonomía esté claramente por encima de los 100 km.

Sistemas de baterías de litio

Los sistemas de baterías de litio permiten obtener aproximadamente las mismas densidades de potencia que las de sodio, pero pueden funcionar a temperatura ambiente. Además, los sistemas de baterías de litio evidencian valores altos de tensiones en los elementos de 3,5 V. Sin embargo, aún se encuentran en fase de desarrollo; para finales de este decenio se esperan prototipos para aplicaciones en sistemas de tracciones.

Accionamientos

El tren de tracción de un vehículo eléctrico generalmente consta del regulador de potencia, el motor y el cambio. El regulador de potencia transforma la posición del pedal de marcha (acelerador) a valores de corriente y tensión en el motor. En la mayoría de las veces se determina mediante

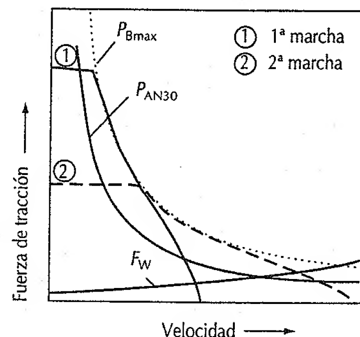
la posición del pedal de marcha el par de accionamiento, de forma parecida a como se hace en el motor de combustión.

Puesto que el coste del motor viene determinado principalmente por el par de giro máximo exigido, es conveniente la reducción máxima entre el número de revoluciones del motor y el de las ruedas. Dependiente de la máxima capacidad de ascenso y de la velocidad máxima exigidas al vehículo, la reducción puede hacerse en uno o varios escalones una vez determinados el par máximo de giro y el intervalo de variación del número de revoluciones. En el diagrama de fuerza de tracción/velocidad el campo de servicio del vehículo está limitado por la potencia máxima de la batería o por la curva de la potencia máxima de accionamiento.

A diferencia de los motores de combustión, en los accionamientos eléctricos se distingue entre la potencia de tiempos breves y la disponible durante períodos de tiempo más largos. La potencia máxima de tiempo corto o pasajera está limitada la mayoría de las veces por el regulador de potencia. Para describir la potencia máxima disponible durante períodos mayores de tiempo, en los accionamientos de vehículos eléctricos de carretera se emplea la

Diagrama F/v de vehículo eléctrico con accionamiento de corriente continua de excitación externa y cambio de dos marchas

P_{Bmax} Potencia máxima de la batería,
P_{AN30} Potencia del accionamiento de 30 minutos,
F_W Resistencia a la marcha



"potencia de una media hora". Ésta normalmente está limitada por la temperatura admisible del motor. La diferenciación entre la potencia de período corto y de media hora también es necesaria en la mayoría de los sistemas de baterías. Entre la potencia de períodos cortos y la de media hora se tiene un factor de 1,5 a 3, según sea el tipo de accionamiento. Por ello la potencia máxima de accionamiento debe ser controlada y, en su caso, reducida, de acuerdo con las curvas características límite del regulador de potencia, del motor o de la batería.

La diferenciación entre potencia de período corto y de media hora en los vehículos eléctricos de carretera lleva también a que se indiquen dos velocidades máximas: la velocidad máxima sobre una distancia de 2 × 1 km, y la velocidad máxima durante 30 minutos.

Accionamiento de corriente continua de excitación en serie

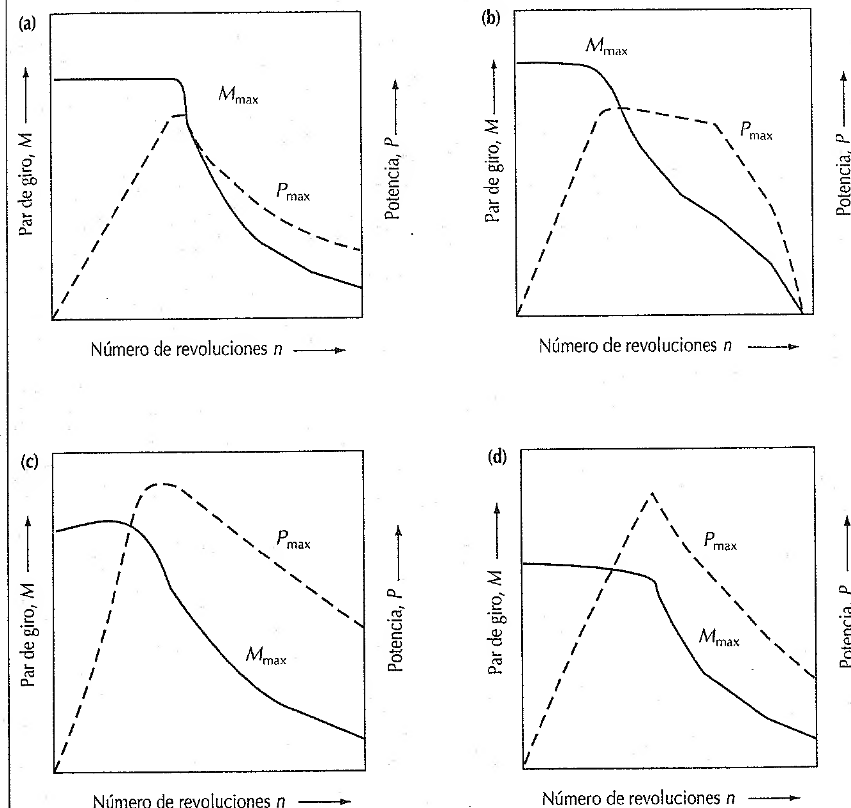
Este accionamiento posee el regulador de potencia de estructura más sencilla. La tensión del motor se ajusta correspondiendo al valor de regimen deseado de la corriente. Esto se obtiene mediante un conmutador de potencia (tiristor o transistor/es), que conecta la tensión de la batería según una relación variable y/o frecuencia rítmica al motor (principio de regulación a posición baja).

Para la recuperación de la energía de frenado el variador de potencia tiene que trabajar como regulador de posición alta, lo cual exige componentes constructivos adicionales. Puesto que el rotor y el inductor del motor están conectados en serie, la potencia de accionamiento desciende con el número de revoluciones de forma cuadrática, si la tensión de la batería está plenamente interconectada. En vehículos eléctricos de carretera, esto hace necesario una caja de cambio de varias marchas.

Debido a la estructura sencilla y sus costes reducidos, hoy casi todos los vehículos de transporte en superficie van equipados con este accionamiento, a pesar de que su rendimiento es relativamente bajo. La reducida velocidad máxima de los vehículos de transporte en superficie permite soluciones de cambio con una sola marcha.

Par de giro y potencia en función del número de revoluciones, para diferentes tipos de accionamiento

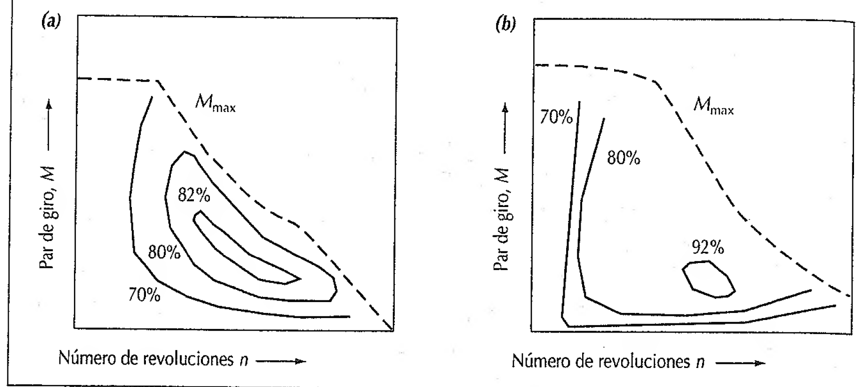
(a) Accionamiento de corriente continua de excitación en serie,
(b) Accionamiento de corriente continua de excitación externa,
(c) Accionamiento asíncrono,
(d) Accionamiento sincrónico de excitación permanente,
M_{max} Par de giro máximo
P_{max} Potencia máxima



Accionamiento de corriente continua de excitación externa

En este accionamiento la excitación magnética del motor está regulada por en elemento de ajuste propio (regulador del inductor). Según sea el tamaño del motor, el campo puede ser debilitado en la relación de aprox. 1:3 a 1:4. El debilitamiento de campo comienza con el número base de revoluciones. El número base de revoluciones se alcanza a plena tensión de motor en el rotor y corriente máxima en el inductor. En el arranque del vehículo con corriente máxima en el inductor, se limita la corriente en el motor mediante un regulador electrónico del rotor hasta que llega al rotor la plena tensión de motor en el número base de revoluciones. En el intervalo de campo debilitado, la potencia de la máquina queda casi constante si la corriente del rotor es constante. Las condiciones de conmutación son más difíciles si

Campos característicos de rendimientos
(a) Accionamiento de corriente continua de excitación externa,
(b) Accionamiento sincrónico de excitación permanente.
M_{max} Par máximo de giro.



la corriente de campo se reduce y requieren por ello una reducción de la corriente en el rotor al alcanzarse el número máximo de revoluciones.

El motor es más complejo debido a la necesidad de polos auxiliares. Los números límite de revoluciones están limitados a 7000 min^{-1} debido al inversor mecánico de corriente. También este accionamiento se combina a menudo con un reductor de varios escalones para mantener reducidos el peso y el coste del motor. La recuperación de la energía de frenado es posible con buen rendimiento y sin elementos constructivos adicionales.

Accionamiento asíncrono

El accionamiento asíncrono tiene la estructura de motor más sencilla y de menor coste. En principio el coste de los reguladores de potencia para accionamientos de corriente trifásica es mayor que en un accionamiento de corriente continua. De forma parecida al accionamiento de corriente continua con excitación externa, también aquí es posible el funcionamiento con debilitamiento de campo. Puesto que no hay un inversor mecánico de corriente, pueden conseguirse, según sea la construcción del motor, números de revoluciones de hasta 20 000 min^{-1}. Esto permite también en vehículos eléctricos de carretera conceptos de accionamientos con reducción de un solo escalón. Es posible la recuperación de la energía de frenado con un rendimiento alto.

Accionamiento sincrónico de excitación permanente

Esta variante de accionamiento consigue rendimientos muy altos también en el intervalo de carga parcial, mediante la utilización de imanes permanentes para formar un campo de excitación. Gracias a los imanes de "tierras raras" con alta densidad de energía son posibles volúmenes constructivos muy pequeños o pares de giro altos. (Las "tierras raras" son materiales que en el rango micrométrico tienen campo magnético). Sin embargo los imanes de tierras raras encarecen bastante al motor. Además, en este accionamiento no es posible un funcionamiento auténtico con debilitamiento de campo. Con funcionamiento parecido al de debilitamiento de campo llega a ser posible un intervalo de funcionamiento mayor a potencia casi constante. Por ello resulta un par de giro distinto. Pero no se consiguen intervalos de números de revoluciones parecidos a los de accionamientos asíncronos, de manera que se combina este accionamiento con un reductor de dos o más escalones.

Accionamientos híbridos

En sentido amplio se consideran híbridos los accionamientos para vehículos con más de una fuente motriz. Para ello puede disponerse según el caso de acumuladores de energía de diferentes tipos y/o transformadores de potencia. El objetivo es siempre combinar dos componentes motrices diferentes, de modo que las ventajas que se den para diferentes estados de utilización superen el mayor gasto técnico de los accionamientos híbridos.

Subdivisión de los accionamientos híbridos

El motor de combustión como fuerza motriz para automóviles no será mejorado por ningún otro tipo de accionamiento en lo que respecta a la potencia que suministra y la autonomía que posee. Los inconvenientes y con ello el obstáculo para ampliar el motor de combustión a su accionamiento híbrido residen en la disminución del rendimiento a carga parcial así como en el funcionamiento no exento de emisiones. En los accionamientos híbridos se dimensiona el motor de combustión aproximadamente a la potencia media de marcha y las diferencias de potencia momentáneas necesarias para la marcha se cubren por medio del acumulador de energía adicional, mecánico o eléctrico.

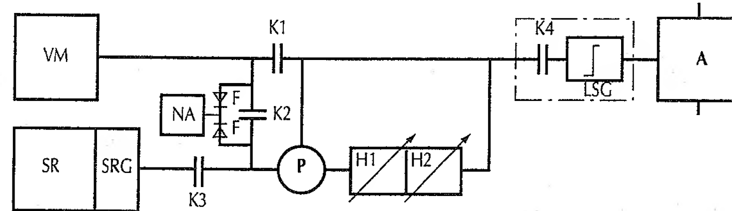
El accionamiento híbrido con motor de combustión y volante de impulsión permite una multiplicidad de sistemas de trabajo por medio de la conexión y desconexión de los tres embragues K 1, K 2 y K 3. El motor de combustión puede acoplarse mecánicamente directamente no sólo al cambio sino también al volante de impulsión. Además, el motor diesel, por medio del cambio sin escalonado, puede poner en marcha la energía cinética de los dos acumuladores (volante de impulsión y masa del vehículo), partiendo del reposo. Asimismo, con esa estructura es posible el funcionamiento en paralelo con ambas fuentes de impulsión, motor diesel y volante. Con dicho funcionamiento en paralelo sólo la potencia absorbida por el volante de impulsión se transmite, a través del cambio sin escalonamiento con el convertidor hidráulico (el cual tiene pérdidas), al engranaje de cambio con engranajes bajo carga, mientras que la potencia del motor se lleva directamente al piñón de entrada del cambio.

Los accionamientos híbridos sin motor de combustión, con componentes impulsores eléctricos exclusivamente tratan de evitar las desventajas del accionamiento puramente eléctrico con baterías. La ener-

Subdivisión de los accionamientos híbridos
△ propuestas de estudio, ● vehículos prototipo, ◆ en funcionamiento de pruebas en la práctica

Fuentes de accionamiento	Motor de combustión	●	●					◆	◆	◆
	Motor eléctrico			●	◆	△	△	◆	◆	◆
Acumulador mecánico de energía	Volante impulsión	●			◆	△				◆
	Acumulador de presión		●							
Fuentes de energía eléctrica	Batería			●		△	△	◆		
	Pila de combustible						△			
	Alimentación externa (trole)			●	◆				◆	
Ejemplos de ejecución		Gyrobus DB MAN	Hydrobus MAN	DUO-Bus Eslingen	Neoplan Trolleybus Basilea			Electrobus híbrido DB Camión distribuidor MB, MAN	DUO-Bus Essen	Bus motor magnético Munich

Accionamiento híbrido motor de combustión con volante de impulsión
VM Motor de combustión, SR Volante de impulsión, SRG Engranaje reductor del volante de impulsión, NA Accionamiento auxiliar, F Marcha libre, K Embrague, D Diferencial, H Cambios hidrostáticos sin escalonamiento, LSG Engranajes del cambio (engranajes planetarios de conexión automática), HA Eje trasero

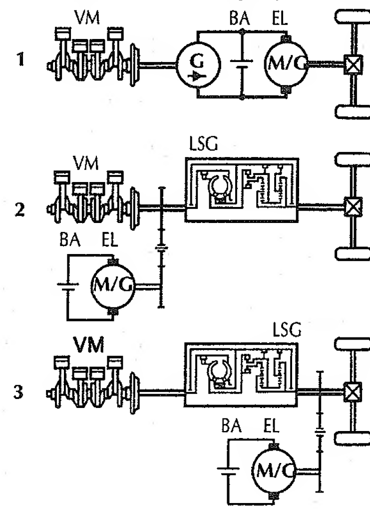


gía útil acumulada en la batería permite sólo una escasa autonomía que aún disminuye más con mayor consumo de potencia. La combinación con un acumulador de energía mecánica separa de la batería las puntas de potencia, lo que lleva a una mejor utilización de la energía de la batería. La combinación de dos fuentes de energía electroquímica diferentes (batería, pila de combustión) hace que se disocien en un acumulador con elevada capacidad de carga y otro con buena capacidad de almacenamiento de energía. En los accionamientos eléctricos híbridos con suministro externo de energía (sistema de trole), el acumulador propio del vehículo sirve para alimentar durante poco tiempo en los tramos del trayecto sin cable. De este modo se reducen los gastos elevados de la línea aérea de alimentación y el vehículo puede funcionar con más libertad.

Accionamientos híbridos ya realizados

Hasta la fecha sólo han resultado importantes desgraciadamente los accionamientos híbridos compuestos de motor de combustión y un accionamiento eléctrico, alimentado ya sea incorporando una batería o usando un cable aéreo de toma de corriente. En el esquema se indican las diferentes disposiciones posibles en principio. La batería incorporada se puede excluir y substituir a voluntad por el suministro de corriente externo. La característica principal distintiva de las diferentes configuraciones la constituye la disposición en serie o en paralelo. Mientras que en la disposición en serie (1) los distintos componentes van dispuestos uno a continuación de otro, en la disposición en paralelo (2 y 3) prevé la acción mecánica conjunta de ambas fuentes de propulsión. Para las máquinas eléctricas se indica el tipo de funcionamiento como motor o como generador con la letra M o G. Por medio del desembragado mecánico del motor diesel de accionamiento del vehículo, en el montaje en serie es posible hacer que funcione a número de revoluciones constante, aproximadamente sólo en su punto óptimo respecto a su rendimiento y emisiones. A las ventajas del montaje en serie se opone el inconveniente de las múltiples transformaciones de energía. Incluyendo el rendimiento de alimentación de la batería, el rendimiento mecánico entre el motor diesel y el eje o árbol de accionamiento apenas supera el 55 %.

Configuraciones híbridas de accionamiento
1 Disposición en serie, 2 y 3 Disposición en paralelo, VM Motor de combustión, EL Accionamiento eléctrico (como motor o como generador), BA Batería o suministro externo de corriente, LSG Engranajes del cambio

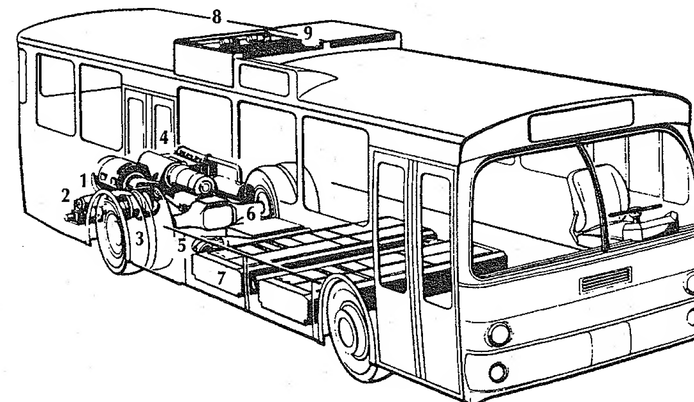


La ventaja del montaje híbrido en paralelo 2 y 3, es que al trabajar con el motor de combustión no se produce ningún empeoramiento con respecto al del vehículo normal. En la disposición 2 los elementos necesarios para el arranque en funcionamiento con motor diesel y los engranajes del cambio, que como se presenta pueden reunirse en una caja de cambio de tipo convencional, también participan en el accionamiento eléctrico. En esta variante basta por tal motivo con variar el número análogo de revoluciones de la máquina eléctrica al motor diesel, sólo en un campo por encima de un número básico de revoluciones, con lo cual se puede emplear un motor en paralelo regulable únicamente en la zona baja del campo. La disposición 3 tiene un rendimiento notablemente mejor que la disposición 2 para la transmisión de fuerza de la máquina eléctrica, pero ha de tener una regulación del accionamiento, por la cual la máquina eléctrica se pueda regular en todo el campo del número de revoluciones, entre el reposo y el número máximo de revoluciones. Además el motor de accionamiento, en la disposición 3 debe colocarse para un par impulsor mayor aproximadamente en la relación de transmisión mecánica de la caja de cambio, mediante lo cual se eleva en la misma medida la inercia del motor, a la que es aproximadamente proporcional el par motor.

La disposición de accionamiento de un autobús eléctrico híbrido se parece a la variante 1 descrita anteriormente. El accionamiento eléctrico está preparado para que en el funcionamiento con baterías eléctricas se obtengan las mismas potencias de circulación que en un autobús diesel normal.

Como la masa de la batería sólo supone el 16 % del peso total admisible del vehículo, las baterías están sujetas a cargas específicas elevadas. Las grandes pérdidas que con ello se originan en el interior de la batería hacen necesarios los dispositivos auxiliares indicados para la misma (refrigeración por agua, eliminación centralizada de gases de escape).

Autobús eléctrico híbrido
1 Motor eléctrico para la marcha, 2 Compresor y bomba para la dirección asistida, 3 Ventilador de refrigeración del motor de marcha, 4 Motor diesel con generador, 5 Ventilador para aireación de las baterías, 6 Regulación electrónica, 7 Baterías de tracción, 8 Dispositivos para enfriamiento de la batería, 9 Resistencia de freno



Tren de tracción

Magnitudes y unidades

Magnitud		Unidad
a	Aceleración	m/s²
c_w	Resistencia del aire	–
e	Factor de masa	–
f	Coefic. de resist. a la rodadura	–
g	Aceleración de la gravedad	m/s²
i	Relación de transmisión	–
m	Masa del vehículo	kg
n	Número de revoluciones	1/min
r	Radio dinám. de los neumáticos	m
v	Velocidad del vehículo	m/s
A	Superficie frontal	m²
J	Momento de inercia	kg . m²
M	Par de giro	N.m
P	Potencia	kW
α	Ángulo de paso	rad
φ	Factor de superdirecta	–
η	Rendimiento	–
λ	Índice de potencia	–
μ	Transformación	–
ρ	Densidad	kg/m³
ω	Velocidad angular	rad/s
ν	Relación de revoluciones	–

Índices

ef	= efectivo	m	Motor
tot	= total	o	Pert. a potencia máx.
hydr	= hidráulico	A	Ramal motriz
max.	= máximo	G	Cambio
min	= mínimo	P	Bomba
h	= Engran. mot. eje	R	Rueda
		T	Turbina

Misión

El tren de tracción de un vehículo tiene la misión de proporcionar la potencia necesaria de impulsión para el avance. Las fuerzas se generan por la conversión de la energía química (combustibles líquidos) o la energía eléctrica en el motor en energía de movimiento (energía cinética). Toda máquina motriz trabaja dentro de un campo de revoluciones determinado, limitado por una marcha en vacío mínima y otra máxima. Los datos característicos como potencia y par de giro pueden ser distintos; los valores máximos sólo están disponibles en campos parciales. Las relaciones de transmisión del grupo propulsor cuidan de que el par deseado y la fuerza de impulsión necesaria para ello puedan variarse.

Variantes de la tracción

La tracción en los automóviles se diferencia según el lugar del motor y del árbol de transmisión.

Clase de tracción	Lugar del motot	Eje accionado
Tracción normal	Delante	Eje trasero
Tracción delantera	Del., long. o transv.	Eje delantero
Tracción a todas las ruedas	Delante; pocas veces detrás o en medio	Eje delant. tras. perman. o desacopl. (un eje o los dos)
Tracción trasera	Detrás	Eje trasero

Relación de equilibrio entre tracción y resistencias a la marcha

La ecuación para la relación de equilibrio entre tracción y resistencias a la marcha sirve para la determinación de las distintas magnitudes, como aceleración, velocidad máxima, capacidad ascensional, etc.

Fuerza cedida = Resistencias a la marcha en las ruedas motrices (fuerza necesaria)

$$M_m \cdot \frac{i_{tot}}{r} \cdot \eta_{tot} = m \cdot g \cdot f \cdot \cos\alpha + m \cdot g \cdot \mathrm{sen}\,\alpha + e \cdot m \cdot \alpha + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Fuerza impulsora en la superf. de contacto de los neumáticos | Resistencia a la rodadura | Resistencia a la subida | Resistencia a la aceleración | Resistencia al aire

Siendo el factor de masa $e = 1 + \frac{J}{m \cdot r^2}$ y J el momento de inercia $J = J_R + i_h^2 \cdot J_A + i_h^2 \cdot i_G^2 \cdot J_m$

Elementos del tren de tracción

Los elementos del tren de tracción deben satisfacer bajo el requerimiento principal de "funcionamiento del vehículo al del funcionamiento desde el estado parado, al del funcionamiento de régimen que se quiere pasando por todas las estapas, hasta la velocidad máxima" las siguientes condiciones:

- puesta en marcha,
- variación del par de giro y del número de revoluciones,
- marcha hacia adelante y hacia atrás.
- diferentes números de revoluciones de las ruedas tractoras en conducción en curvas,
- garantizar el funcionamiento de la máquina motriz en los sectores óptimos de consumo y de gases de escape dentro del campo característico.

Facilitar el estado parado, la puesta en marcha y la separación de la fuerza por accionamiento del embrague. Durante el arranque arrastra el embrague y hace de puente de la diferencia de revoluciones entre el motor y el tren de tracción. Cuando por las condiciones de servicio hay que cambiar de marcha, el embrague separa el tren de tracción del acoplamiento (lo desembraga). En cambios automáticos de embragues hidrodinámicos o variadores se encargan del proceso de puesta en movimiento.

El par motor y las revoluciones del motor se varían con el cambio según las necesidades de fuerza del vehículo, de manera que la potencia $P = M \cdot \omega$ queda casi constante.

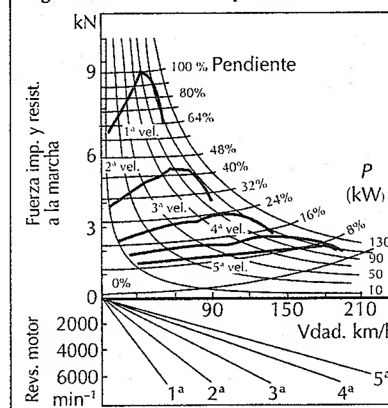
La conversión total tiene lugar por lo general en un cambio de marchas con distintas relaciones de transmisión (a veces sin escalones) y un engranaje motriz de los ejes con relación de transmisión constantes. Los engranajes de arrastre de engrane con ruedas dentadas como elementos principales tienen a causa de su densidad de potencia mayor importancia que los cambios con arrastre de fuerza.

Dos son los tipos de engranajes que dominan: los de ruedas dentadas rectas en construcción de trenes de engranajes como cambios manuales y los engranajes planetarios como cambios bajo carga. Los cambios facilitan además el distinto sentido de giro para la marcha hacia adelante y hacia atrás.

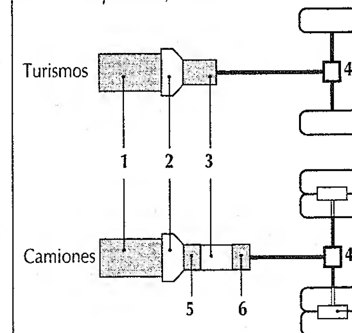
Para la compensación de la diferente velocidad de los ejes y ruedas en las curvas y para el reparto proporcional del par motor se utiliza el diferencial. Los diferenciales bloqueadores frenan la compensación p.ej. al resbalar y girar libremente una rueda, accionan a la rueda que tenga mayor adherencia con un par mayor.

Por mando, los elementos de ajuste y los de conexión ejecutan la acción de cambio deseada. El accionamiento de los elementos de ajuste es a voluntad del conductor o automático con la ayuda de sensores cuyas señales se procesan en un dispositivo de mando hidráulico o electrónico según un programa previsto para tal finalidad.

Diagrama de fuerza de impulsión-velocidad



Engranajes escalonados en el tren de tracción
1 *Motor,* **2** *Embrague,* **3** *Cambio,* **4** *Relación de transmisión del eje,* **5** *Grupo de cambio anterior o* **6** *Grupo de cambio posterior,* **7** *Planetarios*



Los elementos de transmisión hidráulica, los amortiguadores de torsión y los sistemas de masas y resortes, que sirven para amortiguar las vibraciones, protegen contra sobrecargas a los elementos de tracción y cuidan de que las vibraciones no sean molestas.

Embragues

Embrague de fricción

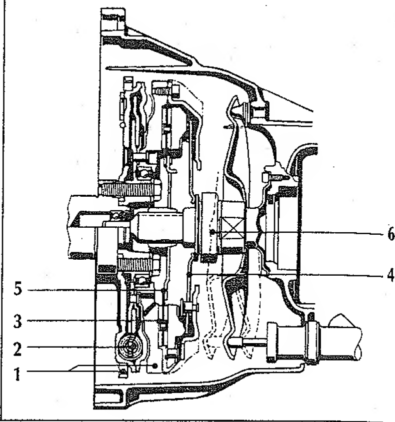
Consta de una placa de presión maciza, un disco de acoplamiento del embrague que va recubierto por ambos lados de un forro de fricción pegado o remachado y de otra superficie de fricción formada por el volante del motor. La placa de presión tiene suficiente capacidad térmica para la fricción necesaria del embrague. El volante y la placa de presión están unidas con el motor, mientras que el disco de embrague lo está con el árbol de entrada del engranaje de cambios.

Durante la transmisión de fuerzas a embrague "cerrado", el disco de embrague es aprisionado entre la placa de presión y el volante mediante muelles (casi siempre un muelle de disco central). Para abrir, p.ej. en un proceso de cambio de marchas, la placa de presión es descargada por un cojinete de desembrague, accionado de forma mecánica o hidráulica. El embrague es accionado mediante un pedal o mediante elementos de ajuste (electrohidráulicos o electromecánicos). En el embrague puede estar integrado, para aislar oscilaciones, un amortiguador de torsión de uno o más escalones, eventualmente con un amortiguador previo.

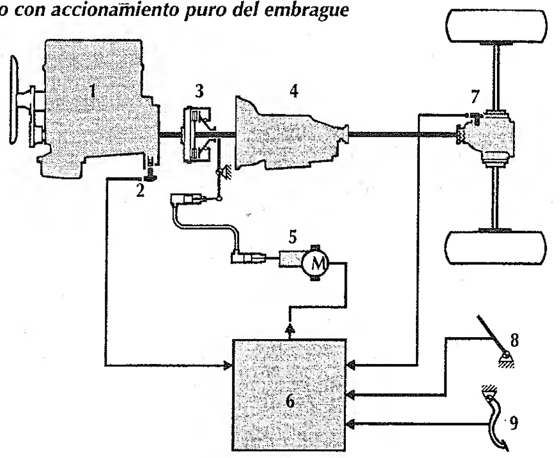
Para el aislamiento óptimo de oscilaciones puede estar colocado un volante compuesto de dos partes (volante de dos masas de inercia), con un elemento elástico intercalado delante del embrague. La frecuencia de resonancia de este sistema de muelle/masas se encuentra por debajo de la frecuencia de excitación (frecuencia de encendido) del ralentí del motor, y de esta forma fuera del intervalo del número de revoluciones del funcionamiento del motor. Actúa como elemento amortiguador de oscilaciones frente a los componentes posteriores del tren de tracción (filtro de ajuste bajo).

Los embragues automáticos ofrecen, junto con los dispositivos de mando electrónicos, o bien un procedimiento automatizado de puesta en movimiento del vehículo o un dispositivo de cambio de marchas plenamente automático. También son posibles intervenciones para la regulación del resbalamiento del accionamiento o de la interrupción de fuerza motriz en los procesos de frenado.

Embrague con volante de dos masas
1 Volante de dos masas, 2 Elemento elástico, 3 Placa de presión, 4 Muelle de disco, 5 Disco de acoplamiento, 6 cojinete de desembrague



Sistema de embrague automático con accionamiento puro del embrague
1 Motor
2 Captador de velocidad
3 Embrague
4 Caja de cambio
5 Servomotor
6 Aparato de control
7 Sensor de la velocidad
8 Pedal del acelerador
9 Pedal del embrague



Embragues y convertidores de par hidrodinámicos

Los embragues y convertidores de par hidrodinámicos (embragues y convertidores hidráulicos) transmiten el par de giro por la fuerza de la circulación de un líquido. Igualan progresivamente la diferencia de revoluciones entre el motor y el tren de tracción, y por ello son muy apropiados como ayuda para la puesta en movimiento del vehículo. El convertidor hidrodinámico además convierte el par de giro. La energía mecánica del motor se convierte, en la bomba, en energía de flujo de un medio líquido (casi siempre aceite) y después otra vez en energía mecánica, en una turbina, por la desviación de la circulación del aceite en las paletas.

La absorción del par de giro M_P o lo que es lo mismo, la absorción de potencia P_P de la bomba, se calculan con las fórmulas

$$M_P = \lambda \cdot \rho \cdot D^5 \cdot \omega_P^2$$

$$P_P = \lambda \cdot \rho \cdot D^5 \cdot \omega_P^3$$

siendo
λ Coeficiente de potencia
ρ Densidad del medio (para aceite 870 kg/m^3)
D Diámetro de la circulación en m
ω_P Velocidad angular de la bomba en rad/s

La dependencia entre el par de la turbina M_P y la absorción de potencia P_P de D^5 es característica para todos los accionamientos hidrodinámicos.

La relación entre el par de turbina M_T y el par de bomba M_P determina el factor de conversión del par $\mu = -M_T/M_P$.

El coeficiente de potencia λ y el de conversión μ dependen de la relación ν, la cual está definida por la relación $\nu = \omega_T/\omega_P$ entre las revoluciones de la turbina y de la bomba.

Por el resbalamiento $s = 1 - \nu$ y la conversión del par se determina el rendimiento hidráulico

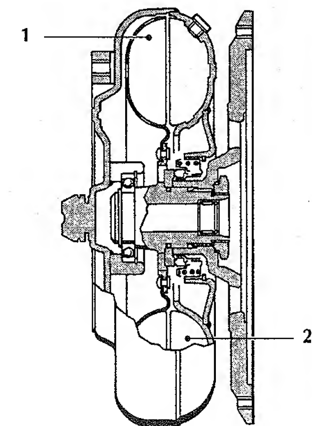
$$\eta_{hydr} = \mu\,(1 - s) = \mu \cdot \nu.$$

Entre las ventajas de los embragues hidrodinámicos se cuenta la regularidad continua (sin escalones), el amortiguamiento de las oscilaciones, obtención del par máximo y transmisión de la potencia prácticamente sin rozamientos. Los embragues y convertidores hidrodinámicos sólo pueden funcionar económicamente junto con cajas de cambio escalonadas mecánicas porque el campo de funcionamiento respecto al rendimiento se tiene que mantener en un margen muy estrecho de revoluciones. A fin de evitar grandes resbalamientos y mejorar así el rendimiento, el transporte de fuerza hidrodinámica se evita con un embrague de fricción que hace de puente.

Embrague hidrodinámico

El embrague hidrodinámico, llamado también de Föttinger, consiste en su forma corriente en una rueda bomba y una rueda turbina con paletas casi siempre radiales.

Embrague hidrodinámico
1 Rueda de la turbina, 2 Rueda de la bomba



La rueda bomba suele extenderse a una cámara; la rueda turbina va cerrada. Al no haber ningún anillo interno, no existe la posibilidad de que la corriente de aceite se desvíe, siendo por tanto el par de la turbina igual al par de la bomba $M_T = -M_P$, así $\mu = 1$ (relación de pares) y $\eta_{hidr} = \nu$. El índice ν depende de la forma constructiva, del ángulo de las paletas y del grado de relleno del embrague. El campo principal de trabajo está en $\nu \approx 0{,}95$, en el automóvil en esfuerzo de carretera hasta $\nu \approx 0{,}98$.

Convertidor hidrodinámico

El convertidor hidrodinámico, llamado también engranaje o convertidor de Föttinger, consta de una rueda bomba, una rueda turbina y una rueda directriz (rodete). El convertidor trabaja de dos modos: en el primero con incremento del par de giro y en el segundo como embrague hidrodinámico sin conversión del par de giro. De forma parecida a un embrague hidrodinámico, la bomba, conectada a la máquina de accionamiento, produce una energía de circulación en el líquido de servicio, mientras que la turbina, unida a la entrada del engranaje, vuelve a transformar la energía de circulación del líquido en energía mecánica. La rueda directriz desvía el líquido circulante para que vuelva a la rueda bomba.

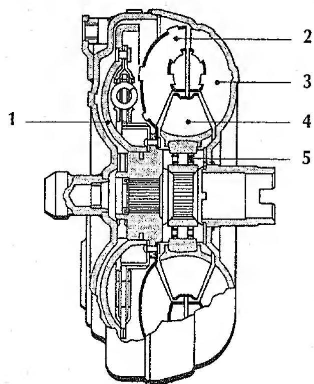
Así el par cedido es mayor que el tomado por la bomba del motor. El incremento del par de giro $\mu = M_T/M_P$ es tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia de revoluciones (resbalamiento) entre la bomba y la turbina.

Por consiguiente, a $\nu = 0$, es decir a turbina del todo frenada (punto de freno rígido, punto de puesta en movimiento), la conversión del par alcanza su valor máximo y desciende luego casi linealmente, al aumentar el número de revoluciones de la turbina, hasta alcanzar la relación de pares 1:1 en el punto de embrague. Por encima del punto de embrague, la rueda directriz, que se apoya en el armazón a través de un piñón libre, gira sin par en el flujo de la corriente (intervalo de embrague).

En los vehículos automóviles se ha impuesto el convertidor Föttinger con turbina atravesada por una corriente centrípeta, también llamado "convertidor Trilok". La forma de las palas viene determinada de modo que en el punto de puesta en movimiento del vehículo ($\nu = 0$) el incremento del par está entre 1,9 y 2,5. Por encima del punto de embrague, que queda con un resbalamiento entre el 10 y el 15%, el rendimiento es igual a la relación de velocidades μ y alcanza, a un número alto de revoluciones, un valor alrededor del 97%. Los embragues de flujo constituyen el elemento de entrada de los cambios automáticos (junto con juegos de planetarios, embragues, frenos y ruedas libres) o bien el cambio como embrague por convertidor hidráulico.

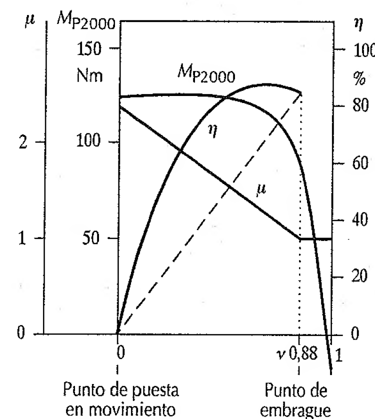
Convertidor hidrodinámico con embrague puente

1 Embrague puente, 2 Rueda turbina, 3 Rueda bomba, 4 Rodete, 5 Rueda libre



Convertidor Trilok

(Campo característico para automóviles)



Embrague puente del convertidor

El embrague puente del convertidor comunica por la turbina con la bomba evitando los resbalamientos desfavorables para el rendimiento cuando se puede prescindir de la conversión o de la amortiguación. El embrague puente del convertidor se compone de un émbolo con forro de fricción que va unido al cubo de la turbina a través de un amortiguador de torsión. El funcionamiento y la constitución del amortiguador de torsión del embrague de fricción en seco son idénticos. El paso del aceite por el convertidor, dirigido por el dispositivo de mando del cambio de marchas, determina si se abre o se cierra el embrague puente.

Cambio

El margen de conversión total necesario I es aproximadamente

$$I \approx \frac{\tan \alpha_m \cdot v_0}{(P/G)_{eff} \cdot \varphi}$$

siendo $\tan \alpha_m$ la capacidad ascensional máxima, v_0 la velocidad máxima determinada por la potencia, $(P/G)_{ef}$ la potencia específica efectiva y φ un factor de marcha directa, con

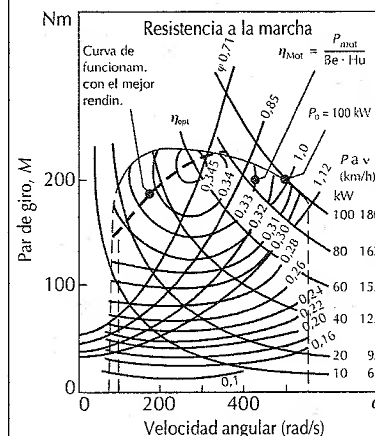
$$\varphi = \frac{(i/r)_{min}}{\omega_0 / v_0}$$

donde r radio dinámico del neumático, $(i/r)_{min}$ conversión mínima y ω_0 velocidad angular nominal del motor.

Para la potencia específica efectiva sólo se debe aplicar la potencia P que efectivamente se dispone para impulsar el vehículo (descontando la consumida en mecanismos auxiliares, pérdidas, influencia de la altura). El peso G debe tener en cuenta también los casos especiales, como p.ej. los remolques para turismos. $\varphi = 1$ cuando en la marcha superior la curva de resistencia a la marcha pasa justamente por el punto de máxima potencia. Para turismos, con $\varphi = 1$, el margen de conversión I necesario está entre 3 y 4; para camiones con potencia específica mínima de 4 kW/t, entre 8 y 10. El factor φ determina la posición de la curva de resistencia a la marcha, con la marcha directa, en el campo característico de funcionamiento del motor y con ello también los rendimientos a los cuales trabaja el motor.

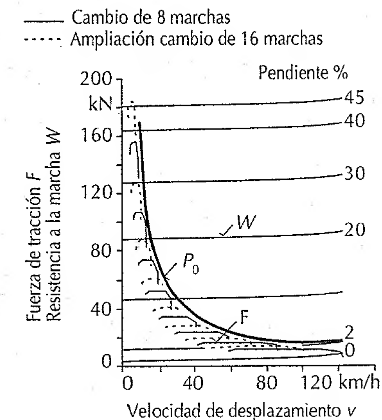
Diagrama del motor con la curva de resistencia a la marcha

(Ejemplo): Motor de turismo con P_0 = 100 kW a ω_0 = 500 rad/s y M_{max} = 230N · m a ω = 250 rad/s



Campo característico de marcha con cambios, para camiones

Potencia específica 8,5 kW/t, P_0 potencia nominal



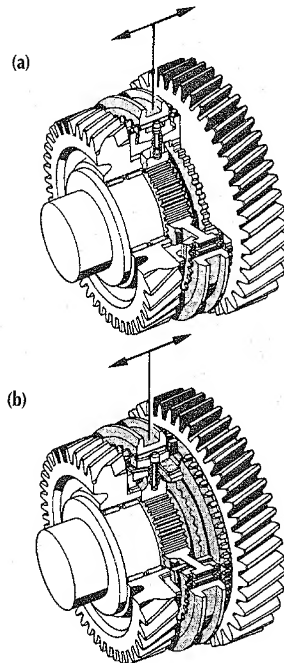
Si $\varphi > 1$ se desplaza el funcionamiento del motor hacia un campo de rendimiento desfavorable, pero aumentan la capacidad ascensional y la reserva de aceleración en la superdirecta. Si se escoge $\varphi < 1$, disminuye el consumo de combustible, pero, no obstante, con una reserva de aceleración y una capacidad ascensional mucho menores. El consumo mínimo se da a lo largo de la curva de servicio φ_{opt}. Con $\varphi > 1$ disminuye y con $\varphi < 1$, aumenta el campo de conversión I indispensable del cambio.

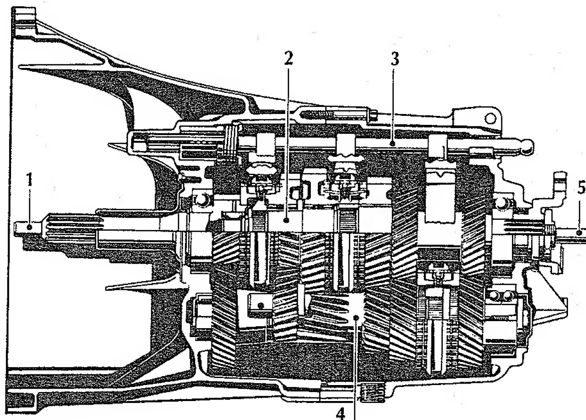
Cambio escalonado

Los cambios de ruedas dentadas de varios escalones transmiten el campo característico del motor de combustión con gran rendimiento de η hasta valores de 0,99 en el campo característico del vehículo. Según el número de marchas y etapas de cambio, dentro del campo exigido de conversión del cambio y también en función de la característica de par de giro del motor a plena carga, se logra un ajuste de satisfactorio a bueno en la hipérbola de la potencia máxima del motor.

Los cambios de escalones se pueden conectar a mano o automáticamente. Los cambios manuales para turismos y para la mayoría de los vehículos industriales están construidos como tren de engranajes de dos ejes. Los cambios para vehículos industriales pesados tienen a veces una

Cambio de marchas
(a) *Con sincronización simple de conos*
(b) *Con sincronización doble de conos*





Cambio de 5 marchas para automóvil con accionamiento estándar *(Synchroma S5-31 de ZF)*
1 *Árbol de accionamiento,* 2 *Árbol principal,* 3 *Riel de transmisión,* 4 *Árbol de corredera con horquillas,* 5 *Árbol de salida*

transmisión de potencia a través de trenes de engranajes también de dos ejes o incluso tres para reducir la carga en los dientes. En este caso son necesarias medidas constructivas especiales para el reparto por igual de la potencia.

Para los cambios totalmente automáticos, lo mismo en turismos que en vehículos industriales, se emplea corrientemente el juego de ruedas planetarias Simpson (3 marchas hacia adelante y 1 hacia atrás), y dependiendo del número de marchas, también pueden estar acoplados otros juegos de ruedas planetarias. También se emplean los juegos de ruedas planetarias Ravigneaux y otros tipos de engranajes de acoplamiento por planetarios.

Cambio manual

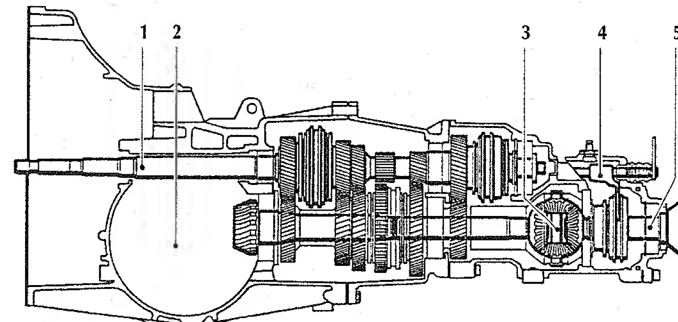
Las partes principales del cambio manual son:
- Embrague de arranque y embrague separador, construido como embrague seco de uno o de dos discos, de accionamiento asistido por servo para el caso en que se requieran elevadas fuerzas de accionamiento.
- Engranajes de cambio de velocidades en uno o más grupos con ruedas dentadas de engrane continuo.
- Cambio de marchas con la palanca de cambios.

Transmisión del movimiento por barra o por tracción de cable, así como también por acoplamiento de garras o sincronización de bloqueo para el acoplamiento de los engranajes con los árboles. Para el acoplamiento, los elementos del cambio que deben unirse entre sí, han de girar primeramente al mismo número de revoluciones. En los cambios de acoplamiento de garras (hoy sólo ocasionalmente en algún vehículo de carga pesado) se consigue esto a voluntad del conductor mediante el doble del embrague (cambio a revoluciones altas) o a medio gas (menos revoluciones).

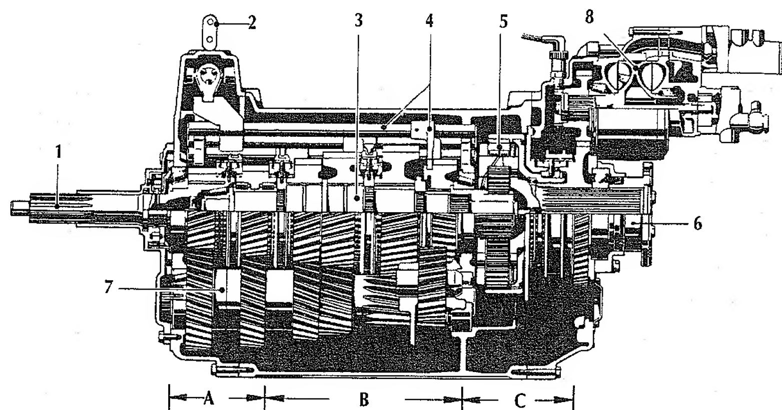
Los cambios de turismos y de la mayoría de los vehículos industriales tienen hoy una sincronización de bloqueo. Consiste en un acoplamiento previo de fricción para igualar las velocidades del arrastre de fuerzas, el cual, mediante un dispositivo de bloqueo, facilita las conexiones de arrastre de forma sólo después del cierre del proceso de sincronización. La sincronización de bloqueo trabaja predominantemente con un cono sencillo; en casos especiales, en los cuales se necesita disponer de gran potencia y/o reducir la fuerza para el proceso de cambio de marcha, se emplean también sincronizaciones de láminas o de doble cono.

Los cambios de turismos tienen 4 o 5 marchas, y a veces seis hacia adelante. El intervalo de relaciones de transmisión se encuentra (dependiendo del número de marchas y de escalones) entre 3,8 y 5,5. La estructura del cambio se orienta según la concepción del vehículo (tracción normal, delantera, a las cuatro ruedas, con motor longitudinal o transversal). Conforme a ello tiene los árboles de entrada y de salida en posición coaxial o asimétrica al eje y a veces se combina con puente trasero y el diferencial.

Cambio de 5 marchas, motor longitudinal, tracción a las cuatro ruedas *(Audi Cuatro)*
1 *Árbol de accionamiento,* 2 *Accionamiento del eje delantero,* 3 *Diferencial intermedio,* 4 *Bloqeo del diferencial intermedio,* 5 *Accionamiento del eje trasero*

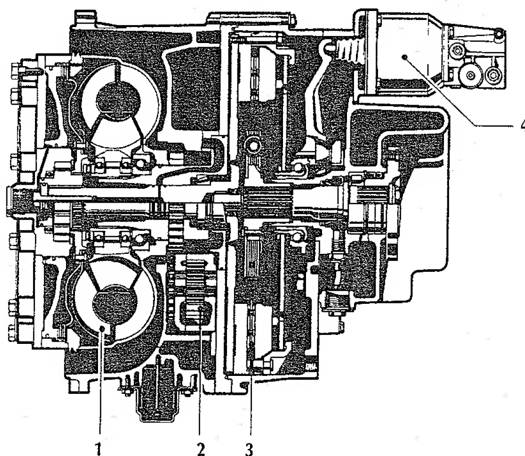


Cambio por grupos de 16 marchas *(16 S 220 Ecosplit de ZF)*
1 *Árbol de accionamiento,* **2** *Conexión de cambio,* **3** *Árbol principal,* **4** *Corredera de cambio con horquilla,* **5** *Juego de ruedas planetarias,* **6** *Árbol de salida,* **7** *Árbol de transmisión,* **8** *Retardador hidrodinámico integrado*
A *Grupo separador,* **B** *Grupo principal,* **C** *Grupo de intervalo*



Par de entrada máximo N · m	Relación de transmisión en las marchas (a elección)															L = Lenta S=Rápida	
	1ª Marcha		2ª Marcha		3ª Marcha		4ª Marcha		5ª Marcha		6ª Marcha		7ª Marcha		8ª Marcha		M. atrás	
	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
2200	16,47	13,79	11,32	9,48	7,79	6,52	5,48	4,58	3,59	3,01	2,47	2,07	1,70	1,42	1,20	1,00	13,32	11,15
2300	13,80	11,56	9,59	8,02	6,81	5,70	4,58	3,84	3,01	2,52	2,09	1,75	1,49	1,24	1,00	0,84	12,23	10,24

Embrague por convertidor hidráulico *(ZF-Transmatic WSK 400)*
1 *Convertidor hidrodinámico con embrague puente*
2 *Bomba de aceite*
3 *Embrague separador mecánico*
4 *Accionamiento servoasistido del embrague seco*



Los cambios de los vehículos industriales, (según la clase y la aplicación), tienen de 4 a 16 marchas. Hasta 6 marchas inclusive, todos los engranajes se construyen en un solo grupo. Las relaciones de transmisión se fijan entre 4 y 9. Los cambios hasta 9 marchas son engranajes de dos grupos, donde el grupo selector de campo es accionado neumáticamente. El intervalo de relación de transmisiones se ubica en 13.

Para un número aún mayor de marchas se emplean los cambios de tres grupos (grupos separador, principal y de intervalo) con accionamiento neumático del primero y último. El alcance de la relación de transmisiones se sitúa en 16.

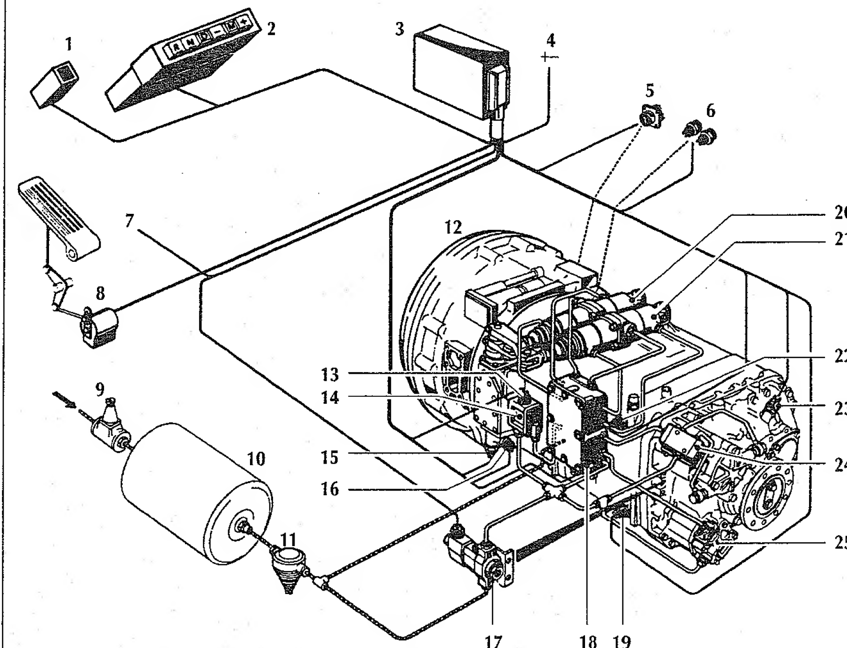
Accionamientos auxiliares

Los cambios de los vehículos industriales están equipados con una serie de posibilidades de conexión para accionamientos auxiliares. Se diferencia entre accionamientos auxiliares dependientes del embrague y dependientes del motor. La elección depende de los requerimientos.

Retardadores

En vehículos industriales pesados se utilizan retardadores para la descarga térmica de frenos en las ruedas durante frenados prolongados. Los retardadores hidrodinámicos o electrodinámicos (pág. 650) se colocan la salida del cambio y el árbol de tracción. Los retardadores hidrodinámicos

Cambio automático para cambio sincronizado
1 *Indicador de la marcha engr.,* **2** *Conmutador de marcha por pulsador,* **3** *Dispositivo electrónico de mando,* **4** *A la red de a bordo,* **5** *Conexión central para mando WSK,* **6** *Sensor inductivo de revoluciones delante y detrás del embrague de cambio,* **7** *Elemento de ajuste "EGas",* **8** *Pedal de marcha con sensor de carga y dispositivo de "kickdown",* **9** *Válvula de rebose sin retorno,* **10** *Depósito de aire comprimido,* **11** *Filtro de aire comprimido,* **12** *Convertidor embrague de cambio (WSK),* **13** *Conmutador para indicación marcha atrás,* **14** *Cilindro de cambio marcha atrás,* **15** *Conmutador indicador para "marcha metida",* **16** *Conmutador indicador de punto muerto,* **17** *Válvula principal de cambios,* **18** *Bloque central de válvulas,* **19** *Conmutador indicador del grupo separador,* **20** *Cilindro de cambio para 3ª/4ª (7ª/8ª) marchas,* **21** *Cilindro de cambio para 1ª/2ª (5ª/6ª) marchas,* **22** *Conmutador indicador del grupo de intervalo,* **23** *Tacómetro electrónico,* **24** *Válvula de conmutación para el grupo de intervalo,* **25** *Válvula de conmutación para grupo separador*



se pueden integrar tanto delante como detrás del cambio. Ventajas: construcción compacta, peso reducido y circuito de engrase común con el aceite del cambio.

Cambio con embrague de convertidor hidráulico

Para simplificar el arranque en condiciones difíciles, los cambios manuales de los vehículos industriales pesados pueden ir combinados con un embrague de convertidor hidráulico (WSK), el cual consta de un convertidor de par hidrodinámico con embrague puente y un embrague separador mecánico para entrar la marcha. El circuito del convertidor se alimenta con una bomba de aceite. En servicio de tracción el puente del convertidor queda abierto. En servicio de empuje el puente del convertidor funciona mediante un piñón libre. El accionamiento del embrague separador es servoasistido.

Cambio manual automatizado

Para facilitar el servicio del cambio y aumentar la economía de consumo se instalan, sobre todo en los vehículos industriales, cambios manuales automatizados parcial o totalmente. Estos cambios, comparados con los cambios automáticos bajo carga tienen sin embargo el inconveniente que todos los cambios de marcha se tienen que hacer separando la fuerza de tracción; no obstante, tienen las siguientes ventajas sobresalientes:

- escalonamiento suave de marchas (hasta 16 marchas),
- bajo coste,
- mismos engranajes para cambio manual que automático.

Funcionamiento

En el cambio hay un bloque de válvulas que convierte las señales eléctricas en neumáticas o hidráulicas y efectúa el mando del cilindro para la ejecución del cambio. Las señales de maniobra eléctricas pueden provenir, según sea el sistema, directamente de una palanca de cambio accionada por el conductor o de un mando electrónico conectado en medio.

Ejecuciones

El sistema más sencillo es un mando a distancia en el que únicamente se sustituye el varillaje mecánico. La palanca del cambio (pulsadores o convencional con las marchas en H) es la que da las señales eléctricas. El proceso de arranque y embrague es igual que en los cambios manuales. En sistemas más desarrollados se acopla también un indicador de la conveniencia de cambiar de marcha. Sus ventajas son:

- facilita el procedimiento de efectuar el cambio,
- fácil montaje (el varillaje llega a ser superfluo)
- seguridad contra las revoluciones excesivas del motor.

En sistemas totalmente automáticos tanto el cambio como también el elemento de arranque están del todo automatizados. Los elementos que maneja el conductor son una palanca de cambio o pulsadores. Con un posicionamiento manual o con pulsadores +/-, el conductor puede variar el cambio automático. Para manejar automáticamente un cambio de varias marchas hace falta una maniobra de cambio complicada. No basta con colocar las marchas según un esquema fijamente predeterminado. Para coordinar los criterios de conducción y de economía de combustible, hay que tener en cuenta la resistencia real a la marcha (determinada por la carga y el perfil de la calzada). De esta misión se encarga un mando con un microprocesador.

Para ayudar al proceso de sincronización (según la clase de cambio) una regulación electrónica del motor corta momentáneamente el suministro de combustible o se acelera. Las ventajas son:

- conducción con consumo optimizado mediante cambio automático con mando por ordenador
- menor fatiga del conductor
- gran seguridad para conductor y vehículo.

Cambios automáticos

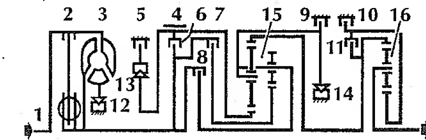
Los cambios automáticos efectúan por sí solos el arranque, la selección de la relación de transmisión y la conexión de la marcha. Como elemento de arranque se ayudan exclusivamente de un convertidor hidrodinámico. El rendimiento de la relación de transmisión en los cambios automáticos es por principio algo menos favorable que en los cambios a mano, pero este inconveniente, por el programa de conexión, por el cual el motor siempre trabaja en el margen conveniente de consumo, queda más que compensado. Sus elementos son:

- Convertidores hidrodinámicos (exclusivamente en los cambios de turismos; en los de los vehículos industriales casi siempre según el principio Trilok) para el arranque, para aumentar el par y amortiguar las oscilaciones. En los cambios de turismos a veces y en los de vehículos industriales en general, con embragues puente.
- Varios juegos de engranajes planetarios situados detrás del convertidor hidrodinámico. Su número y disposición dependen del número de marchas y de las relaciones de transmisión.
- Embragues de láminas accionados por aceite a presión, frenos de discos o de bandas dispuestas para que los distintos

***Cambio automático de 5 marchas** (5 HP 18 de ZF)*

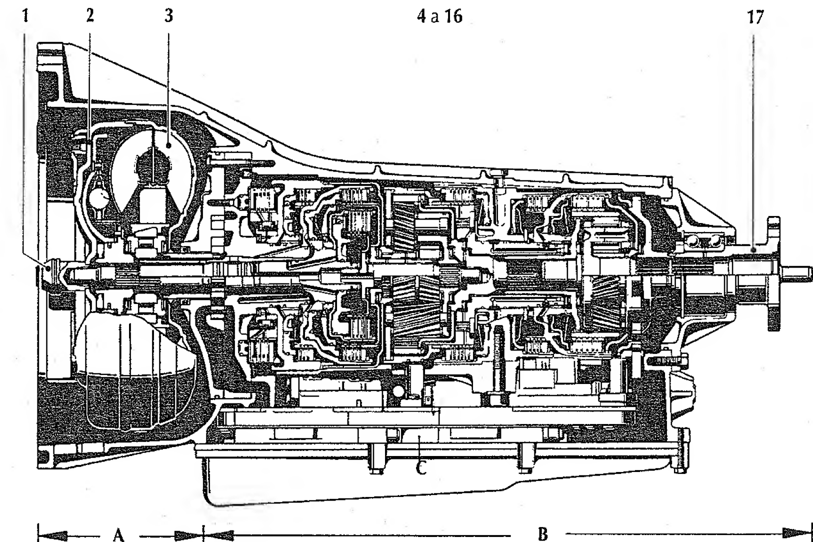
Los grupos principales son:
A *Convertidor hidrodinámico de par con embrague puente,*
B *Engranaje planetario de 5 marchas,*
C *Mando electrónico/hidráulico del cambio.*
1 *Accionamiento*
2 *Embrague puente del convertidor*
3 *Convertidor de par hidrodinámico,*
4 *Freno de cinta*
5 a 11 *Embragues de láminas y frenos de discos*
12 a 14 *Piñones libres,*
15 y 16 *Engranajes planetarios,*
17 *Árbol de salida*

Esquema de conexión de fuerza



Marcha	Elemento de cambio 2	4	5	6	7	8	9	10	11	Transmisión mecánica
1	○				●		○	●		3,67
2	○	●	●		●			●		2,00
3	○	●	●		●				●	1,41
4	○		●		●	●			●	1,00
5	○	●	●			●			●	0,74
R	○			●			●	●		4,10

● cerrado ○ puede estar cerrado



elementos de los engranajes planetarios lleven a cabo el cambio de marcha sin interrupción de la fuerza de tracción.

– Ruedas libres junto con los elementos de conexión para optimizar la conexión de carga.

– Regulación del cambio para definir la marcha y el instante de la conexión, así como también para ejecutar la conexión de carga en función del programa de cambio seleccionado por el conductor (palanca de selección), posición del pedal del acelerador, estado de marcha del motor y velocidad del vehículo. El mando del cambio puede ser del todo hidráulico o electrónico e hidráulico.

– Bomba de aceite accionada por el motor (en algunos casos asistida por otra bomba de aceite accionada en el lado del accionamiento) para suministrar aceite a los elementos del cambio y a la regulación del cambio, así como también al convertidor hidrodinámico, el engrase del cambio y la refrigeración.

Tipos de cambios

Los cambios automáticos para turismos tienen, en su mayoría, 4 marchas. El intervalo de relaciones de transmisión mecánica está entre 3,0 (cambios de 3 marchas) y 5,0 (cambios de 5 marchas). La conversión en el arranque es de 2,0 a 2,5.

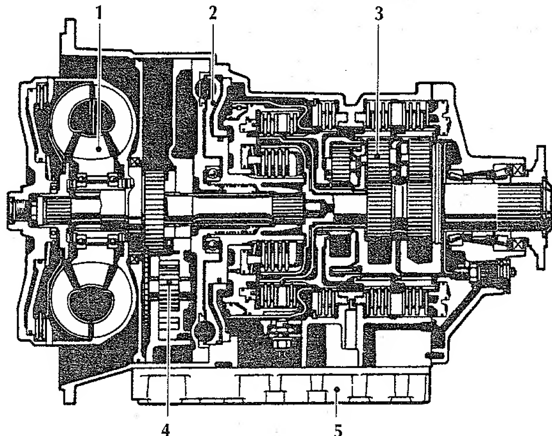
Los cambios automáticos para vehículos industriales tienen entre 3 y 6 marchas. El intervalo de relaciones de transmisión mecánica está entre 2 y 8. A menudo estos sistemas poseen retardadores hidrodinámicos integrados, puesto que ya se dispone los elementos necesarios para ello (bomba de aceite, cárter grande, radiador refrigerador de aceite).

Regulación electrónica del cambio

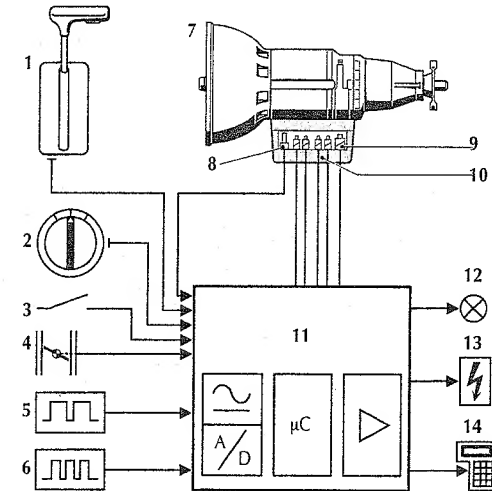
Para la regulación de los cambios automáticos se utilizan también de forma creciente, además de los sistemas hidráulicos, los sistemas combinados electrónico/hidráulicos. En estos la parte hidráulica continua con la regulación de la potencia de los embragues, mientras que la electrónica se encarga de la selección de las marchas y del ajuste de las presiones al par que se transmita. Las ventajas son: mayor cantidad de programas de cambio, más comodidad en los cambios, adaptación más flexible a los diferentes tipos de vehículos, mando hidráulico simplificado y eliminación de piñones libres.

Unos sensores captan las revoluciones a la salida del cambio, la condición de carga y las revoluciones del motor, la posición de la palanca del cambio y las de los conmutadores del programa y del "kickdown". El dispositivo de mando procesa estas informaciones según un programa preconcebido y determina con él las magnitudes que indicará al cambio. El punto de intersección entre la electrónica y la hidráulica lo forman los convertidores electrohidráulicos. Unas válvulas electromagnéticas sencillas conectan o desconectan los embragues. Para ajustar la presión exacta en los elementos de fricción se utilizan reguladores de presión analógicos o digitales. Un sistema típico comprende las siguientes partes:

Cambio automático con retardador integrado para autobuses, camiones y vehículos especiales
(ZF Ecomat 5 HP 500)
1 *Convertidor de par hidrodinámico con embrague de puente*
2 *Retardador hidrodinámico*
3 *Cambio planetario de 5 marchas*
4 *Bomba de aceite*
5 *Mando del cambio*



Regulación electrónica del cambio
1 *Palanca de selección con conmutador de posición,*
2 *Conmutador de programa,*
3 *Conector de kickdown,*
4 *Sensor del ángulo de la válvula de estrangulamiento,*
5 *Par motor (señal t_i),*
6 *Número revoluciones del motor (señal de encendido),*
7 *Cambio,*
8 *Sensor de revoluciones a la salida del cambio,*
9 *Regulador de presión,*
10 *Válvulas electromagnéticas,*
11 *Dispositivo de mando electrónico,*
12 *Indicador de fallos,*
13 *Reducción del par motor mediante influencia en el encendido,*
14 *Conexión de diagnóstico*



Regulación del instante del cambio

En función del número de revoluciones a la salida del cambio y de la carga del motor realiza la selección de la marcha que hay que aplicar por medio del mando de dos válvulas electromagnéticas. El conductor puede elegir entre varios programas de marcha (por ejemplo, para un óptimo de consumo o un óptimo de potencia). A través de la palanca de selección también se tiene la posibilidad de intervenir manualmente en el cambio.

Con la ayuda de programas "inteligentes" de cambio se pueden procesar, además de los parámetros estándar utilizados, multitud de otras magnitudes como pueden ser la aceleración longitudinal, la aceleración transversal, la velocidad del accionamiento del pedal de marcha o de freno para mejorar la conducción. Un complejo programa de mando elige una marcha adaptada de forma óptima a las condiciones correspondientes del caso y las costumbres de conducción, es decir, suprime el cambio a marchas superiores si en curvas se deja de acelerar brevemente, impide el cambio de marchas en curvas y determina un programa de cambio si se acciona suavemente el acelerador sin intervención manual, cambiando a marchas superiores con revoluciones bajas. Ejemplo: la Tiptronic[1] de Porsche con cambio 4 HP 22 de ZF combina un programa "inteligente" para alto confort de conducción en el funcionamiento automático con las posibilidades de una influencia manual individual activa. Además de las posiciones usuales de la palanca de selección dispone de una segunda vía paralela, en la cual un simple toque a la palanca de selección inicia el cambio inmediato de marcha (mientras no se sobrepase ningún límite de revoluciones).

Convertidor puente

Por medio de un puente mecánico se puede eliminar el resbalamiento del convertidor y mejorar así el rendimiento del cambio. La regulación del embrague del convertidor se realiza por medio de una válvula electromagnética en función de la carga del motor y del número de revoluciones a la salida del cambio.

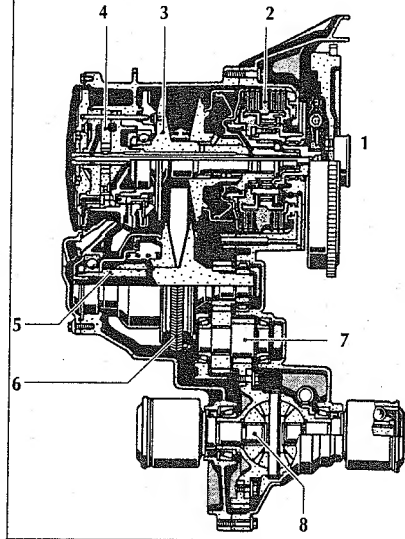
Regulación de la calidad del cambio
Lo fundamental para la calidad del cambio es la adaptación precisa de la presión en los elementos de fricción al par que se debe transmitir (que se calcula por el estado de carga y del número de revoluciones del motor). La regulación de la presión se realiza por medio del regulador de presión. Otra mejora de la calidad del cambio la realiza la disminución por poco tiempo del par motor durante el proceso del cambio, que se consigue (por ejemplo, retrasando el instante del encendido). Esta medida produce también una disminución de la pérdida de trabajo en los embragues y con ello un incremento de su vida útil.

Circuitos de seguridad
Unas conexiones de control evitan los daños en el cambio por falsas maniobras. Si hay alguna avería en el circuito eléctrico, la instalación pasa a un estado de funcionamiento seguro con las características de circulación de emergencia.

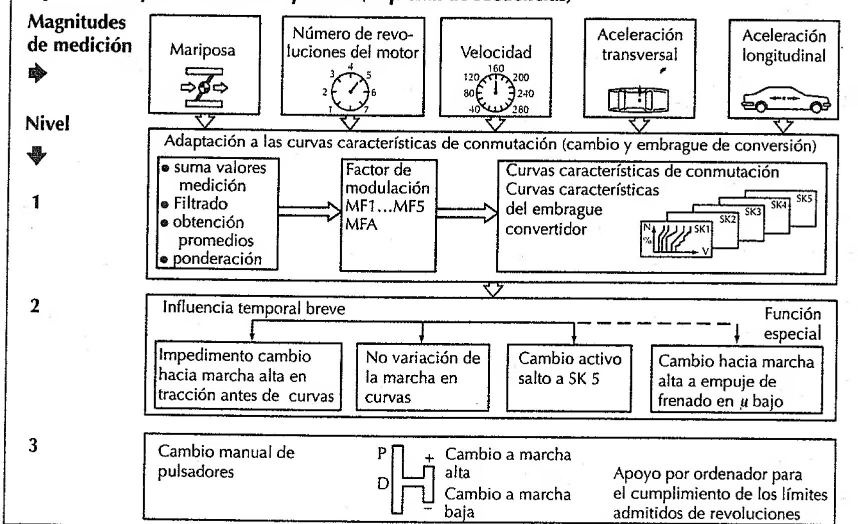
Elementos de ajuste
Las interfases electrónica/hidráulica las constituyen convertidores electrohidráulicos como válvulas electromagnéticas y reguladores de presión.

Cambio sin escalones
Los cambios sin escalones pueden convertir todo punto de trabajo del motor en una

***Cambio sin escalones** (Ford CTX 811)*
1 Accionamiento, 2 Juego de inversión con elementos de puesta en movimiento, 3 y 5 Árbol primario y secundario, con discos cónicos desplazables, 4 Bomba de aceite, 6 Banda de acero articulada, 7 Árbol intermedio, 8 Accionamiento del eje con diferencial



Operaciones para el cambio Tiptronic (Esquema de secuencias)



curva de servicio del diagrama de marcha y toda curva de funcionamiento del motor en un campo de servicio del mismo diagrama de marcha citado. Así pues, es posible, por ejemplo, hacer que el motor funcione según su curva de consumo mínimo. Para el aprovechamiento completo sería pues necesario un factor de marcha rápida $\varphi = 0,5$, lo cual duplicaría el servicio de conversión frente a $\varphi = 1$.

Los cambios sin escalones pueden ser de ejecución mecánica (de rodillos, de correa envolvente), hidráulica o eléctrica. Los cambios mecánicos sin escalones envolventes de cinta de acero (en serie en automóviles del rango inferior de potencias) son los más desarrollados, cuya disposición traspuesta del eje del cambio se integra muy bien en vehículos con tracción delantera y motor transversal. Su margen de variación está entre 5,5 y 6. Los principales componentes de los cambios mecánicos sin escalones envolventes son:

- elemento de puesta en movimiento (o bien embrague húmedo de laminillas, embrague de polvo magnético o convertidor hidrodinámico),
- discos primarios y secundarios con mitades desplazables de discos cónicos y transmisión de fuerza mediante cinta de acero.
- Mando electrónico/hidráulico del cambio,
- escalón de inversión y
- accionamiento del eje con diferencial.

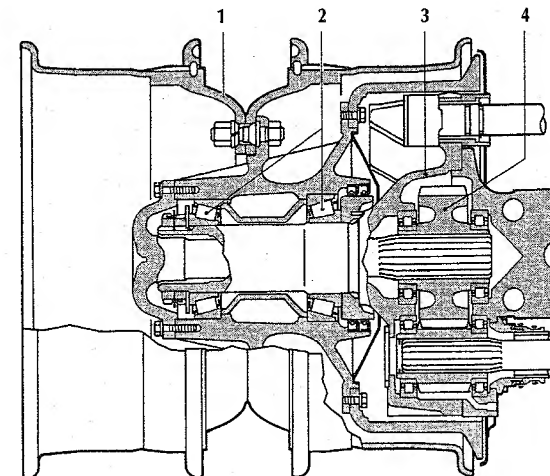
Los otros principios citados de cambios sin escalones hasta la fecha no han podido imponerse, porque aún presentan serios inconvenientes en comparación con los cambios escalonados (espacio requerido, peso, intervalo de transmisión, rendimiento de transmisión, coste de la construcción y posibilidades de aplicación).

Puente trasero

Los cambios con relación de transmisión variable (manuales y automáticos), si es preciso también con engranajes intermedios (engranaje distribuidor de accionamiento a todas las ruedas) y el puente trasero forman en el vehículo el total de la transmisión entre el motor y las ruedas impulsadas.

Los ejes articulados (con una articulación o varias en los más largos, con cojinetes intermedios) hacen de puente en el espacio de separación física entre el cambio y el eje trasero. Los movimientos angulares en ejes no alineados se compensan con articulaciones cardan, articulaciones paralelas o discos de articulación.

Eje dentado de camión con engranaje de ruedas dentadas rectas en el buje de la rueda
1 Rueda gemela
2 Cojinete de rueda
3 Buje
4 Engranaje de ruedas dentadas rectas



Entre las revoluciones del árbol motor n_m y las de las ruedas n_R con el radio de neumático r, con conexión intermedia de una relación de transmisión i_G de la marcha del cambio y una relación de transmisión i_h se tiene la siguiente ecuación:

$$n_R = n_m/(i_G \cdot i_h)$$

La velocidad del vehículo es pues

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot r}{i_G \cdot i_h}$$

En los turismos el puente trasero consta normalmente sólo de un engranaje hipoide (motor longitudinal) o de un juego de ruedas dentadas rectas (motor transversal). La relación de números de dientes determina la relación de transmisión. En vehículos de serie normalmente se sitúa entre 2,2 y 5,0.

En los vehículos industriales, sólo pocas veces se puede obtener la necesaria relación de transmisión del eje en una etapa (piñón cónico). Por ello en la mayoría se emplean sistemas de impulsión y árboles más complejos:

- Ejes con relación de transmisión más sencilla (hasta $i_h = 7$)
- Ejes de transmisión con engranaje cónico antepuesto o sobrepuesto
- Ejes de dos marchas (relación de transmisión total $i_h = 9$)
- Ejes dentados (engranajes de ruedas dentadas rectas en los bujes)
- Ejes de planetarios exteriores (en casos especiales también conectables)

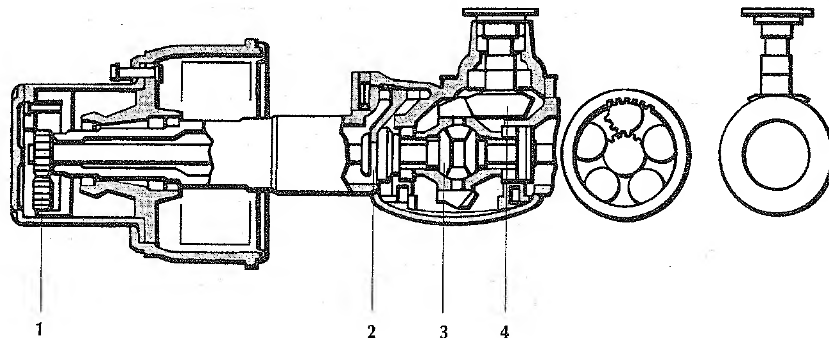
Grandes coronas diferenciales disminuyen la altura libre sobre el suelo debajo del piñón central. Con los ejes dentados y los de planetarios exteriores, se pueden reducir el piñón central y los árboles del eje por la división de la relación de transmisión. Así se logra suficiente altura libre del vehículo sobre el suelo incluso para grandes potencias.

Engranajes planetarios

Lo engranajes planetarios (engranaje variador) encuentran su aplicación preferente como engranajes motrices de ejes, en grupos de conexión previa o posterior y, sobre todo, en los cambios automáticos. El engranaje planetario simple (juego planetario) consta de un piñón principal central, una corona hueca de dentado interno y las ruedas o piñones planetarios. Estos componentes, según el caso, pueden impulsar, ser impulsados o mantenerse solidarios. La disposición coaxial de los tres elementos permite una combinación ventajosa con embragues de arrastre de fricción y frenos para unir o fijar estos elementos a elección. Las variaciones de transmisión que se obtienen así, pueden efectuarse bajo carga. Esta cualidad se aprovecha especialmente para cambios automáticos.

Puesto que distintas ruedas dentadas engranan paralelamente bajo carga, el tamaño constructivo está limitado. El engranaje no posee fuerzas libres de apoyo; permite pares de giro altos, bifurcaciones o sumas de potencias y posee un buen rendimiento.

Eje de planetarios exteriores de camión
1 Engranaje planetario, 2 Bloqueo del diferencial, 3 Diferencial, 4 Engranaje motriz del eje



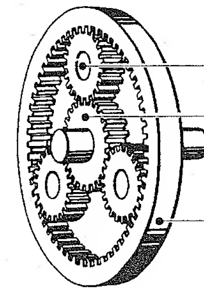
Diferencial

El diferencial compensa las diferencias de los movimientos giratorios de las ruedas motrices: durante la conducción en curvas entre la rueda externa y la interna; adicionalmente, con tracción a las cuatro ruedas, entre los diferentes ejes motores.

En la práctica se prefieren los diferenciales de rueda cónica, que trabajan como un brazo de balanza y producen siempre el equilibrio del par y de las fuerzas entre la rueda motriz de la derecha y la de la izquierda. Si los valores de fricción sobre la

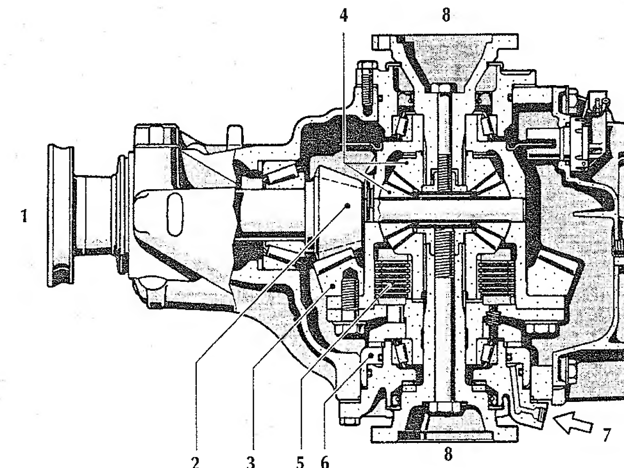
Engranaje planetario con distintas relaciones de transmisión
A Rueda principal, B Corona con dentado interior, C Soporte con ruedas planetarias

Ecuación básica del engranaje planetario simple: $n_A + (Z_B/Z_A) \cdot n_B - [1 + Z_B/Z_A]\, n_C = 0$



Entrada	Salida	Fija	Relac. transmis.	Observación
A	C	B	$i = 1 + Z_B/Z_A$	$2{,}5 \le i \le 5$
B	C	A	$i = 1 + Z_B/Z_A$	$1{,}25 \le i \le 1{,}67$
C	A	B	$i = \frac{1}{1 + Z_B/Z_A}$	$0{,}2 \le i \le 0{,}4$ Marcha rápida
C	B	A	$i = \frac{1}{1 + Z_A/Z_B}$	$0{,}6 \le i \le 0{,}8$ Marcha rápida
A	B	C	$i = -Z_B/Z_A$	Engranaje fijo con inversión del sentido de giro $-4 \le i \le -1{,}5$
B	A	C	$i = -Z_A/Z_B$	Engranaje fijo con inversión del sentido de giro $-0{,}25 \le i \le -0{,}67$

Puente trasero con bloqueo electrónico/hidráulico del diferencial
1 Lado del accionamiento, 2 Piñón cónico de accionamiento, 3 Corona diferencial, 4 Piñones diferenciales, 5 Paquete de láminas, 6 Émbolo de presión, 7 Conexión hidráulica, 8 Lado de salida del accionamiento



calzada son distintos en las ruedas motrices ("μ-split"), el diferencial, a causa del efecto mencionado de brazo de balanza, limita la fuerza impulsora capaz de ser transmitida al doble del valor de la fuerza de impulsión de la rueda con el valor menor de fricción. Si hay exceso de fuerza impulsora, esta rueda gira resbalando.

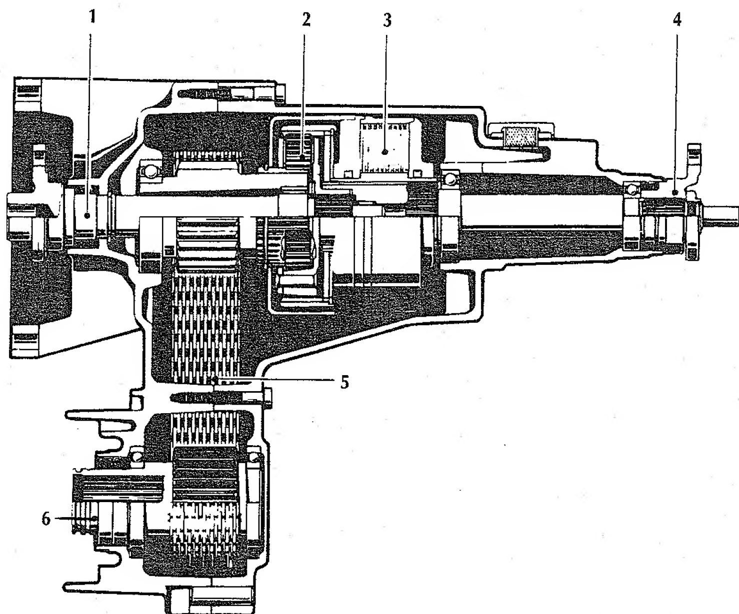
Para eliminar este efecto, en los turismos se instalan diferenciales con resbalamiento limitado (diferenciales autobloqueantes). El equilibrio se limita a través de combinaciones de láminas de rozamiento, conos de fricción y ruedas dentadas de retención automática, y también a través de láminas que trabajan en un líquido muy viscoso. La eficacia del diferencial de bloqueo se define por el coeficiente de bloqueo:

$$S = \frac{|M_{\text{rueda izq}} - M_{\text{rueda der}}|}{M_{\text{rueda izq}} - M_{\text{rueda der}}} \cdot 100\ \%$$

Los coeficientes corrientes para turismos están entre el 25 % y el 40 %. El efecto bloqueador aumenta ya sea con el par de impulsión (generalmente diferenciales de bloqueo de láminas), el par diferencial (ruedas dentadas con efecto de autorretención) o con la diferencia del número de revoluciones (diferencial de bloqueo por viscosidad).

Según las condiciones de aplicación se cumplen distintas exigencias con diferenciales de bloqueo con mando electrónico. Al arrancar se puede conseguir un coeficiente de bloqueo elevado y a medida que aumenta la velocidad o se llega al límite de tracción que vaya disminuyendo. Para determinados casos (por ej. todo terreno), hay bloqueos diferenciales de arrastre de forma que el conductor puede actuar a mano.

Diferencial distribuidor para la tracción a las cuatro ruedas con embrague por viscosidad
1 *Árbol impulsor,* **2** *Engranaje planetario,* **3** *Embrague por viscosidad,* **4** *Árbol de impulsión trasero,* **5** *Transmisión por cadena,* **6** *Árbol de impulsión delantero*



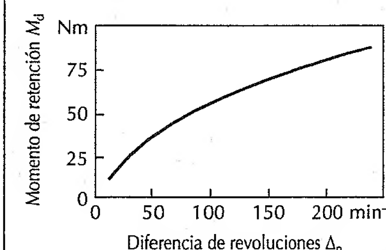
Tracción a las cuatro ruedas, engranaje de distribución

La tracción a las cuatro ruedas cumple las exigencias especiales a la tracción y el deseo de la menor influencia negativa en el comportamiento de la marcha. Como sistemas se utilizan:

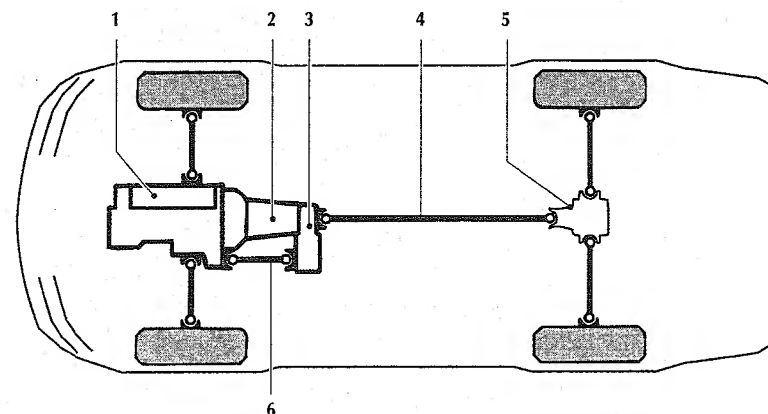
- Tracción permanente a las cuatro ruedas, distribución 50%/50% con diferencial de rueda cónica o asimétrica por diferenciales planetarios. La distribución teórica del par de giro interfiere el efecto del diferencial de bloqueo automático o maniobrado.
- Tracción conectable a las cuatro ruedas (embrague de retención delante y detrás, embrague por viscosidad o diferencial distribuidor), también con bloqueos de diferencial conectables al diferencial distribuidor y al engranaje motriz de los ejes. Los diferenciales distribuidores en los vehículos para todo terreno llevan además una relación de transmisión conectable para pendientes extremas, velocidades muy lentas y grandes fuerzas motrices.

El embrague por viscosidad (embrague de láminas encapsulado con relleno de silicona de alta viscosidad) es una forma especial de la conexión optativa de la tracción a las cuatro ruedas. Si sobrepasa la tracción en el eje accionado permanentemente, entonces aumenta el par motor en el segundo eje motriz, en función del resbalamiento y de la curva característica del par de bloqueo del embrague por viscosidad. El acoplamiento de las cuatro ruedas se divide en empuje y marcha libre, con lo cual el sistema es compatible con el ABS.

Curva característica del momento de retención del embrague por viscosidad en el diferencial distribuidor



Tren de tracción para tracción a las cuatro ruedas
1 *Motor,* **2** *Cambio,* **3** *Engranaje de distribución,* **4** *Accionamiento eje trasero,* **5** *Diferencial,* **6** *Accionamiento eje delantero*



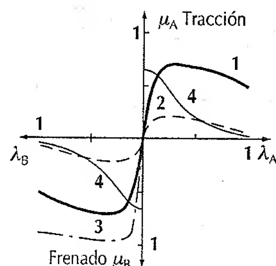
Regulación del resbalamiento en la tracción ASR

Tanto en la puesta en marcha como en la aceleración y el frenado, la transmisión de fuerzas depende del resbalamiento entre los neumáticos y calzada. Las curvas de resbalamiento del accionamiento y las del frenado tienen en principio la misma evolución de la figura. La gran mayoría de los procesos de aceleración y de frenado transcurren con valores pequeños de resbalamiento en los intervalos estables de las curvas. Si aumenta el resbalamiento, aumenta también entonces la transmisión de fuerza aprovechable. A resbalamiento creciente se alcanza el extremo inestable correspondiente de la curva. Un ulterior aumento del resbalamiento lleva a una disminución de la transmisión de fuerza. Al frenar la rueda se bloquea en pocas décimas de segundo; en el aceleramiento el número de revoluciones de una o de ambas ruedas motrices aumenta rápidamente debido al par de giro excesivo.

En el primer caso actúa el ABS y evita el bloqueo de las ruedas. En el segundo caso actúa el ASR que evita el resbalamiento del giro de las ruedas, regulando el resbalamiento en la tracción hacia valores admisibles. Así el ASR cumple con dos misiones:

- incremento de la tracción y
- aseguramiento de la estabilidad del vehículo (conservación de su trayectoria).

Curvas resbalamiento/transmisión de fuerzas
1 *Asfalto mojado μ_{AB},* **2** *Nieve compactada μ_{AB},* **3** *Hormigón μ_{AB},* **4** *Asfalto mojado μ_S. Indice de adherencia/resbalamiento tracción/frenado μ_{AB}, Coeficiente componente μ_S, Resbalamiento tracción/frenado λ_{AB}*

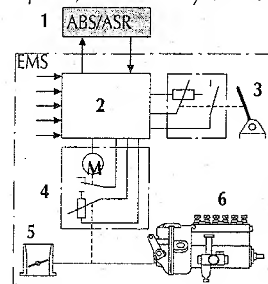


Regulación del resbalamiento en la tracción para automóviles

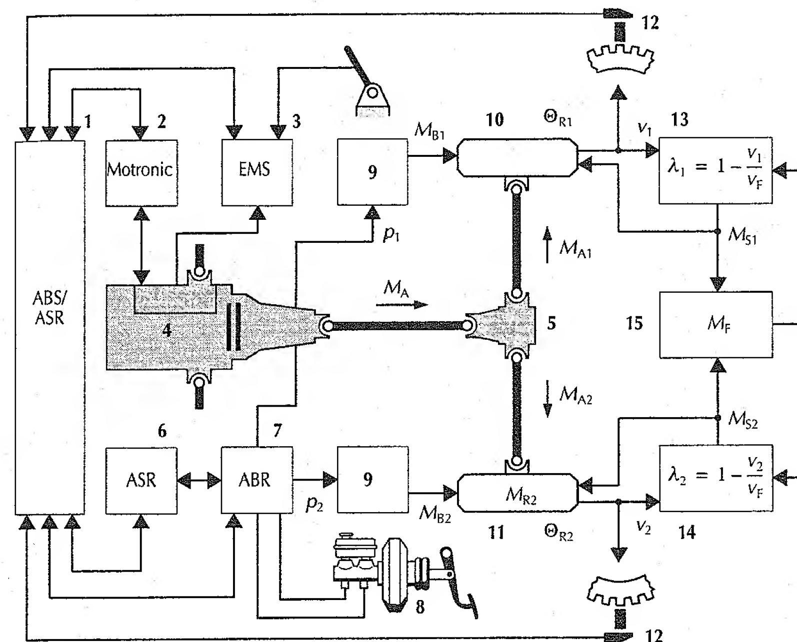
ABS/ASR 2I (Bosch)

Para regular de forma óptima los pares de giro en las ruedas motrices, la regulación electrónica de la potencia del motor EMS ("pedal de marcha electrónico", "EGas") sustituye en los motores Otto a la unión mecánica entre el pedal de marcha y la válvula de estrangulamiento, y en los motores diesel, entre el pedal de marcha y la palanca de variación de la bomba de inyección. Un transmisor de valores del pedal transforma la posición del pedal de marcha en señales eléctricas. Un motor posicionador eléctrico recibe la tensión de regulación a través del dispositivo de mando, actúa sobre la posición de la mariposa o de la palanca de variación de la bomba de inyección y transmite luego su posición al dispositivo de mando. La actuación simultánea sobre los frenos apoya temporalmente la acción de la EMS (mejora de la tracción hacia adelante mediante un efecto de bloqueo del diferencial). El dispositivo hidráulico del ABS es ampliado por la parte del ASR para proporcionar energía hidráulica adicional para la intervención en los frenos y permitir la conmutación al funcionamiento en forma de ASR. Partiendo del nivel de la presión del acumulador, las válvulas magnéticas del ABS en el dispositivo hidráulico se ocupan de la modulación rápida y exacta de la presión en los frenos de las ruedas motrices, mediante sus tres posiciones "incremento de la presión", "mantenimiento de la presión" y "reducción de la presión".

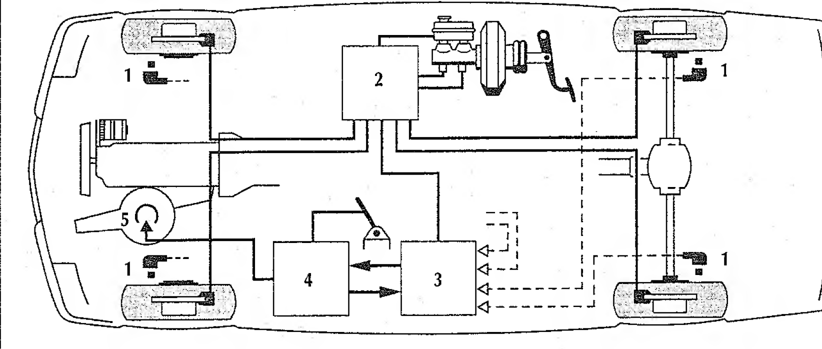
Regulación electrónica de la potencia del motor EMS para ASR
1 *Dispositivo de mando ABS/ASR,* **2** *Dispositivo de regulación EMS,* **3** *Pedal de marcha,* **4** *Motor posicionador,* **5** *Mariposa o,* **6** *Bomba de inyección diesel*



ABS/ASR para automóviles
1 *Dispositivo de mando ABS/ASR,* **2** *Dispositivo de mando Motronic,* **3** *Dispositivo de mando EMS,* **4** *Motor, embrague, caja de cambios,* **5** *Diferencial,* **6** *Alimentación de presión del ASR,* **7** *Dispositivo hidráulico del ABS,* **8** *Cilindro principal con amplificador de la fuerza de frenado,* **9** *Frenos de ruedas,* **10** *Rueda 1,* **11** *Rueda 2,* **12** *Sensor de número de revoluciones,* **13** *Calzada para rueda 1,* **14** *Calzada para rueda 2,* **15** *Masa del vehículo m_F, p Presión de frenado, v Velocidad de la rueda, v_F Velocidad del vehículo, λ Resbalamiento, θ_R Par de inercia de la rueda, M_A Par de tracción, M_B Par de frenado, M_R Balance de pares de la rueda motriz, M_S Par de calzada. Indices 1,2: rueda 1,2*



Sistema ABS/ASR-2I para automóviles
1 *Sensor de número de revoluciones,* **2** *Dispositivo hidráulico del ABS/ASR,* **3** *Dispositivo de mando del ABS/ASR,* **4** *Dispositivo de mando del EMS,* **5** *Mariposa*



El dispositivo de mando del ABS/ASR está conectado mediante un punto de interfase con el dispositivo de mando del EMS. El dispositivo de mando del EMS se encarga de maniobrar la mariposa para regular el par del motor.

Una variación temporal breve del ángulo de encendido hacia "retardo" apoya la regulación relativamente lenta del par del motor mediante la mariposa.

ABS/ASR 2P (Bosch)

Este sistema comprende también la regulación del par del motor con la ayuda de EMS y la intervención de frenado en las ruedas motrices; aquí sin embargo dos émbolos buzo se encargan del par de frenado. Entre la válvula electromagnética y el émbolo buzo hay una válvula magnética 2/2 con accionamiento hidráulico, que estrangula el caudal al superarse una leve presión determinada. Para aumentar la comodidad del frenado, este sistema permite una afluencia mayor inicial de líquido de frenos, para posteriormente ralentizar el incremento de presión en el freno.

ABS/ASR 2E (Bosch)

El dispositivo hidráulico del ABS aquí es ampliado por una válvula electromagnética de conmutación (para separar las funciones de ABS y ASR), una válvula electromagnética correspondiente accionada hidráulicamente para limitar la presión (DBV) y una válvula de cierre. El circuito autoaspirante de la bomba de retorno lleva el líquido de frenos al nivel de presión determinado del DBV. Las válvulas electromagnéticas del ABS asignadas a las ruedas motrices se encargan de la modulación de la presión en los frenos de dichas ruedas.

Con este sistema se mejora notablemente la estabilidad de marcha en el ASR, viéndose claramente reducido el coste. En calzadas con tracción por fricción casi constante son suficientes la regulación del par del motor por la regulación de la mariposa, la variación del ángulo de encendido y la desconexión del encendido, para obtener una estabilidad de marcha óptima.

Para que pueda prescindirse de la instalación de EMS, que sirve también para otras funciones de regulación en el motor, un motor posicionador regula directamente la posición de la mariposa en dirección de "apertura menor", donde un potenciómetro registra su posición. Así la regulación "rápida" con la variación del ángulo de encendido y la desconexión del encendido se complementan con la regulación "lenta" del par del motor. La intervención de frenado principalmente sirve de ayuda de tracción en la puesta en movimiento sobre "μ-split" (valores de fricción diferentes en izquierda/derecha).

ABS/ASR5 (Bosch)

Basándose en una nueva generación de válvulas electromagnéticas, cada una con sólo dos conexiones hidráulicas y dos posiciones de conmutación (válvulas electromagnéticas 2/2), pudieron reducirse ulteriormente el coste de fabricación y el peso del ASR para las mismas prestaciones y con la ventaja de circuitos cerrados de frenos.

El dispositivo hidráulico está construido según el principio de los elementos componibles y permite así una aplicación flexible para las subdivisiones más usuales de circuitos de frenos (II/X) y tipos de accionamientos de vehículos (incluyendo la tracción a las cuatro ruedas).

La estructura de las válvulas 2/2 admite la introducción de la parte hidráulica en su bobina de excitación, simplificando así la construcción de un dispositivo adicional de regulación para el dispositivo hidráulico.

Esta conexión directa del dispositivo de mando con las bobinas de las válvulas electromagnéticas simplifica notablemente la estructura del cableado en el vehículo.

Las funciones de regulación del motor son en su mayoría independientes de la hidráulica y también pudieron ser aprovechadas, en su forma ya desarrollada, para el ABS/ASR.

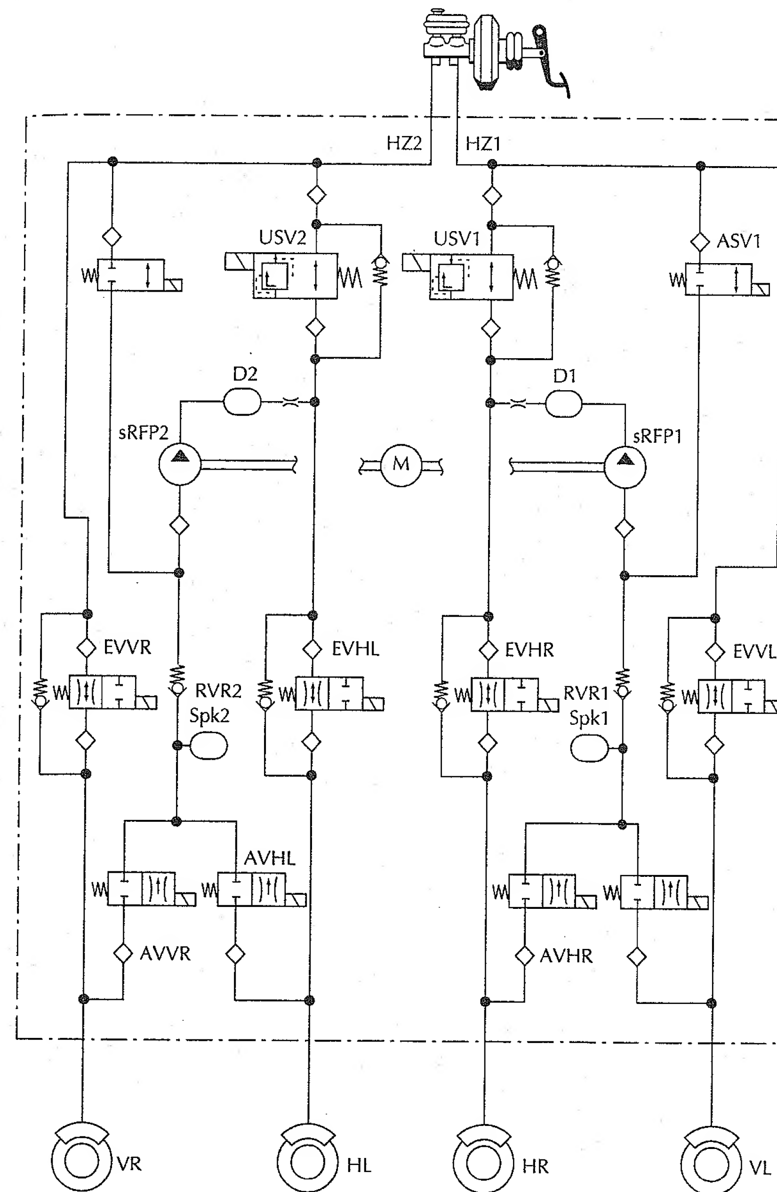
Regulación del par de arrastre del motor MSR

El sistema ASR para automóviles se puede complementar con una regulación adicional del par de arrastre del motor MSR. Al cambiar a una marcha demasiado reducida o al levantar bruscamente el pie del acelerador sobre calzada mojada, las ruedas motrices pueden resbalar demasiado por el efecto de frenado del motor.

El MSR incrementa levemente el par del motor mediante un ligero aumento de la admisión de mezcla, para poder desacelerar así las ruedas de forma óptima para la estabilidad del vehículo.

Esquema de una instalación hidráulica para ABS/ASR

HZ *(1,2) Conducciones de cilindro principal,*
USV *(1,2) Válvulas de conmutación,*
D1 *y* D2 *Cámaras de amortiguación,*
RVR *(1,2) Válvulas de protección de depresión,*
AV, (HR, HL, VR, VL) *Válvulas de reducción de presión,*
ASV *(1,2) Válvulas de aspiración,*
sRFP *(1,2) Bomba de retorno autoaspirante,*
Spk *(1,2) Cámaras de acumulación,*
EV (HR, HL, VR, VL) *Válvulas de incremento de presión,*
HR, HL, VR, VL *Frenos de ruedas.*



Regulación del resbalamiento en la tracción para vehículos industriales

La regulación del resbalamiento en la tracción está integrado en los dispositivos de mando del ABS y utiliza también componentes de éste tales como sensores de número de revoluciones y válvulas de regulación de la presión.

La instalación de regulación consta de un circuito de frenado y otro de regulación del motor. El circuito de regulación de frenado ASR necesita adicionalmente una válvula bidireccional y una válvula ASR (válvula electromagnética 2/2), y el de regulación del motor un dispositivo de regulación para reducir el par del motor.

Circuito de regulación del frenado

En el proceso de puesta en movimiento con un valor de fricción "μ-split" reducido, es decir con valores distintos de fricción derecha/izquierda, a menudo sólo una rueda comienza a girar en exceso, si se le imprime demasiada potencia al motor. La fuerza de tracción del vehículo viene determinada por el valor reducido de fricción de la rueda que gira resbalando y por lo tanto es pequeña. En este caso el regulador de frenado produce en dicha rueda un par de frenado que actúa como par de accionamiento, mediante el diferencial, sobre la rueda aún inmóvil.

Para el frenado de la rueda primeramente el dispositivo de mando conmuta la válvula ASR a paso libre, y luego, con la ayuda de la válvula de regulación de presión del ABS, se mantiene o disminuye la presión en el cilindro de freno según sea el comportamiento de la rueda.

Con la variación de la presión del freno el regulador del frenado intenta sincronizar las ruedas motrices, es decir que se produce una especie de efecto de bloqueo entre las ruedas motrices, comparable con el efecto de bloqueo mecánico del diferencial. Sin embargo el par del motor en la regulación ASR debe ser mayor, por el par de frenado de regulación, que el par de motor de un bloqueo mecánico de diferencial.

Sobre terreno difícil (p.ej. grandes superficies de obras) a menudo se utiliza un bloqueo mecánico de diferencial, y la función de regulación del frenado sólo se emplea cuando el conductor no puede apreciar las ventajas de ese bloqueo en la tracción. El bloqueo mecánico del diferencial no es necesario en casi ningún vehículo que no trabaja en terreno difícil.

El efecto del regulador de frenado es ventajoso especialmente en la puesta en movimiento, en la aceleración o en pendientes de montaña con "μ-split". En cuestas de montaña con "μ-split" extremo y con el vehículo muy cargado se precisa de una alta presión para frenar la rueda resbalante. Para evitar en tales casos una sobrecarga térmica, la ASR dispone de dos funciones de seguridad:

(a) A velocidades inferiores a 30 km/h el regulador de frenado no se activa.

(b) La actividad de regulación y la velocidad de la rueda en aquel momento son la base de estimación de la carga térmica del freno; al sobrepasarse un valor límite, se desconecta el regulador.

Circuito de regulación del motor

Si el conductor acelera demasiado con un valor de fricción homogéneo bajo, las dos ruedas motrices resbalan. La fuerza de tracción se comporta según el valor decreciente de fricción en el intervalo inestable de la curva de accionamiento por fricción/resbalamiento. Sobre hielo y nieve se nota, a vehículo parado o a marcha muy lenta, un efecto de "pulido", el cual adicionalmente reduce el coeficiente de rozamiento. Simultáneamente disminuye la estabilidad del vehículo. En este caso el circuito de regulación del motor reduce el resbalamiento de la tracción a valores admitidos, aumentando así la tracción y seguridad de la estabilidad del vehículo.

Como dispositivos de reducción del par del motor se tienen reguladores neumáticos y eléctricos.

Aquí se describirán a modo de ejemplo dos variantes de las posibilidades de regulación eléctrica:

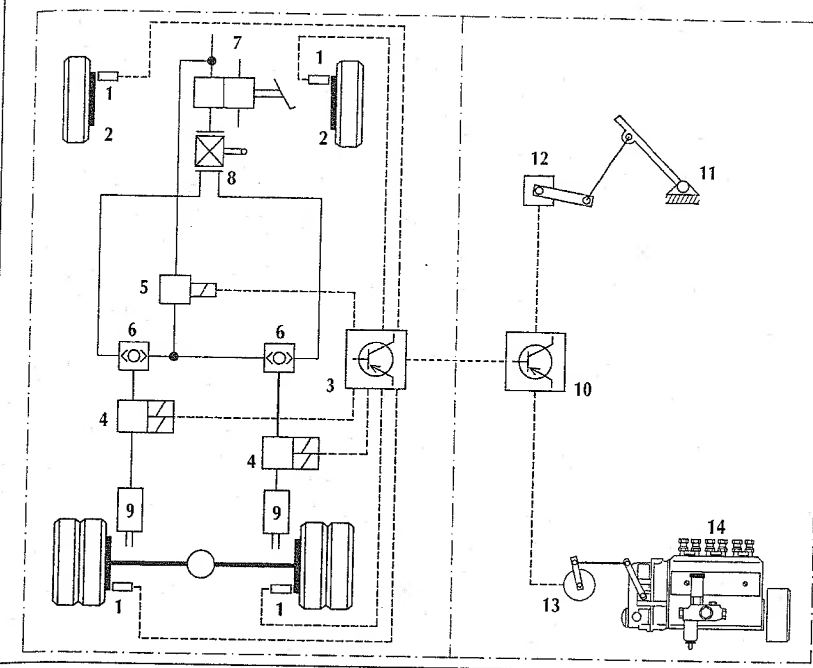
– Punto de intersección para los reguladores electrónicos del motor,

– Regulación directa de un motor variador eléctrico.

Punto de intersección (p.ej. CAN, ver pág. 800): el dispositivo de mando ABS/ASR recibe, de un dispositivo de mando para la administración del motor, una señal "deseo del conductor" (p.ej. la posición del pedal de marcha o la cantidad de inyección deseada). De acuerdo con la señal el

Regulación del resbalamiento en la tracción (ASR) para vehículos industriales con regulación electrónica de la potencia del motor (EMS)

1 *Sensor del número de revoluciones,* 2 *Aro de impulsos,* 3 *Dispositivo de mando ABS/ASR,* 4 *Válvula de regulación de la presión (monocanal),* 5 *Válvula electromagnética 2/2,* 6 *Válvula bidireccional,* 7 *Válvula de freno de servicio,* 8 *Regulador de la fuerza de frenado,* 9 *Cilindro de freno,* 10 *Dispositivo de mando EMS,* 11 *Pedal de marcha,* 12 *Transmisor de valores de pedal,* 13 *Motor posicionador,* 14 *Bomba de inyección*



dispositivo de mando ABS/ASR transmite el deseo de reducción, calculado por el resbalamiento de la rueda y otras magnitudes, el cual es ejecutado por el dispositivo de regulación del motor. Dispositivos de mando para la administración del motor son p.ej. el EMS (Regulación electrónica de la potencia del motor) y el EDC (Regulación electrónica diesel) que contienen todas las funciones de la administración del motor (p.ej. regulador de la velocidad de crucero, limitador del número de revoluciones, regulación del ralentí, etc.) y ejecutan el deseo de reducción inmediatamente y con la necesaria exactitud.

Motor posicionador: el dispositivo de mando del ABS/ASR regula directamente el motor posicionador. El motor posicionador, como motor de corriente continua con indicación integrada de posición, permite la regulación exacta de la posición, que la hace independiente de las fuerzas de ajuste en la bomba de inyección, del rozamiento en las palancas del acelerador y de otras magnitudes de interferencia. La ASR sólo puede reducir a través de las palancas, excluyéndose así un aceleramiento erróneo. Un limitador de velocidad de marcha (FGB), integrado en el dispositivo de mando, regula la velocidad de marcha según un límite legal (regulación v_{max}) o bien según un valor indicado por el conductor mediante un teclado (regulación v_{set}). Para ello el conductor debe accionar más el pedal de marcha de lo que sería necesario para mantener v_{max} o v_{max}. El exceso de suministro de mezcla lo reduce el dispositivo ABS/ASR. Los FBG son obligatorios por ley para autocares (peso total > 10t) y camiones (> 12t) desde el 1° de Enero de 1994.

Suspensión

Tipos de oscilaciones

La suspensión y la amortiguación actúan principalmente contra las oscilaciones verticales del vehículo. Son determinantes para el confort en la marcha (efecto de las oscilaciones en los pasajeros y en la carga) y para la seguridad de marcha o la solicitación de la calzada (variaciones de la carga en las ruedas). Por medio de varios sistemas de muelle/amortiguador/masa se pueden representar de forma sustitutoria la acción combinada de los elementos del vehículo.

Modelo de dos masas como modelo de cuarto de vehículo

h Amplitud de excitación, z Amplitud de oscilación, c Rigidez del muelle, k Constante de amortiguación, m Masa. Indices: 1 Neumáticos y eje, 2 Estructura

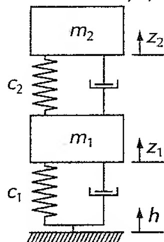


Tabla 1. Efectos de los tamaños constructivos sobre el comportamiento del vehículo en oscilaciones verticales

Tamaño constructivo	Efecto sobre frecuencia propia de la estructura	Efecto en el intervalo entre frecuencias	Efecto en la frecuencia propia del eje
Datos de la estructura Constante de muelle	Sobre confort de marcha Grande	Sobre confort de marcha Medio	Sobre seguridad de marcha Reducido
Más rígido	Aumentan la frecuencia y la amplitud, baja la comodidad		Aumenta la frecuencia, baja ligeramente la amplitud
Más blando	Bajan la frecuencia y la amplitud, aumenta la comodidad		Aumenta ligeramente la amplitud a frecuencias bajas de excitación
Constante de amortiguación	Grande sobre la comodidad de marcha Se precisa optimización		Grande sobre las fluctuaciones de la carga sobre la rueda
Mayor (amortiguador más rígido)	Disminuye la aceleración	Aumenta la aceleración	Aumenta la amplitud y disminuyen las fluctuaciones dinámicas de la carga en la rueda
Menor (amortiguador más blando)	Aumenta la aceleración	Disminuye la aceleración	Disminuye ligeramente la amplitud y aumentan las fluctuaciones dinámicas de la carga en la rueda
Masa	Reducida sobre el factor de ampliación de la fluctuación de carga sobre la rueda; a mayor carga de transporte disminuye el factor de ampliación de la aceleración (el vehículo vacío posee un menor confort de marcha y una fluctuación mayor de la carga en la rueda que un vehículo cargado)		
Datos de rueda y de neumático Suspensión (disminuyendo la dureza del neumático)	La frecuencia propia y la amplitud casi no varían		La frecuencia propia y la amplitud de la aceleración de la estructura y la fluctuación de la carga sobre la rueda disminuyen de forma aprox. proporcional a la disminución de la rigidez vertical del neumático.
Amortiguación	La frecuencia y la amplitud no varían al variar la amortiguación del neumático Debido al calentamiento la amortiguación del neumático debería ser lo más pequeña posible para permitir un mayor efecto de muelle a los neumáticos blandos		La amplitud de la aceleración de la estructura y de la fluctuación de carga en la rueda disminuyen ligeramente al aumentar la amortiguación
Masa de la rueda	La reducción de la masa de la rueda casi no influye en la comodidad de marcha		Una masa reducida de la rueda aumenta la seguridad de marcha

Las oscilaciones de la estructura determinan mayormente el confort de marcha. Valor efectivo de la aceleración vertical de la estructura:

$$\vec{\ddot{z}}_2/\vec{h}$$

Las oscilaciones axiales (y con ello indirectamente las fluctuaciones de carga sobre la rueda) determinan la seguridad de marcha. Valor efectivo de la oscilación axial vertical:

$$\vec{\ddot{z}}_1/\vec{h}$$

Como relaciones de amplitudes resultan en ambas magnitudes de movimiento dependencias características de frecuencias.

Los efectos de las variaciones de los parámetros, en el modelo de dos masas (y también en el vehículo real), están resumidos en la tabla 1.

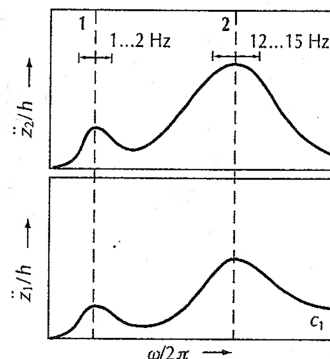
El muelle en la estructura y el amortiguador influyen no sólo en el comportamiento oscilante vertical de la estructura del vehículo, sino también en sus movimientos de cabeceo y de balanceo.

Cabeceo: giro alrededor del eje transversal del vehículo p.ej. al arrancar (extensión de los muelles de delante compresión). El cabeceo de arranque y de frenado se reducen según se escoja la cinemática de las bielas paralelas.

Balanceo: giro alrededor de un eje longitudinal del vehículo, el cual mayormente transcurre desde adelante abajo hacia atrás arriba, como consecuencia de acciones de conducción (compresión de muelle en el lado exterior de la curva – extensión en el lado interior de la curva). Esta influencia se disminuye mediante estabilizadores en los ejes delantero y trasero.

Dependencia de la frecuencia de las magnitudes de movimiento

$\ddot{z}_1$ Amplitud aceleración axial, $\ddot{z}_2$ Amplitud aceleración de la estructura, h Amplitud de excitación
1 Frecuencia propia de la estructura, 2 Frecuencia propia axial



Elementos de la suspensión

(Véase la tabla 2)

Sistemas de suspensión regulados

Regulación del nivel

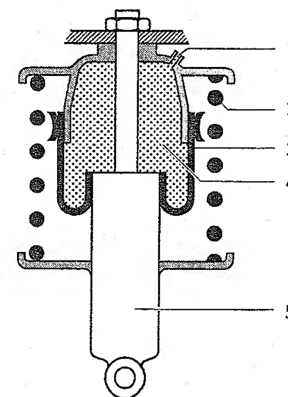
Sistemas de soporte parcial

Con muelles blandos en la estructura (confort de marcha) se producen recorridos grandes del muelle p.ej. con carga del vehículo. Para evitar una bajada excesiva de la estructura, se utilizan adicionalmente muelles neumáticos o hidroneumáticos.

El volumen del gas es aprovechado para la suspensión. La posición del nivel se registra mecánicamente en partes del chasis. Mediante válvulas se introduce directamente aire o aceite hidráulico en los muelles o se deja que salga. También se

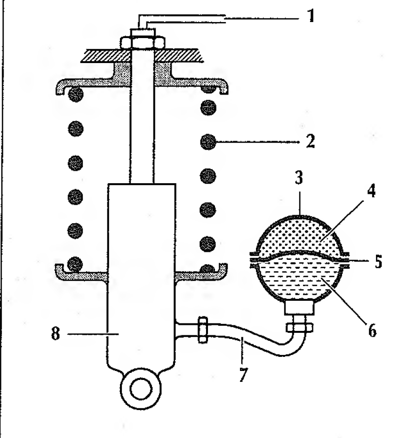
Regulación neumática del nivel (sistema de soporte parcial)

1 Conexión de aire, 2 Muelle de acero, 3 Muelle adicional neumático, 4 Volumen del gas, 5 Amortiguador



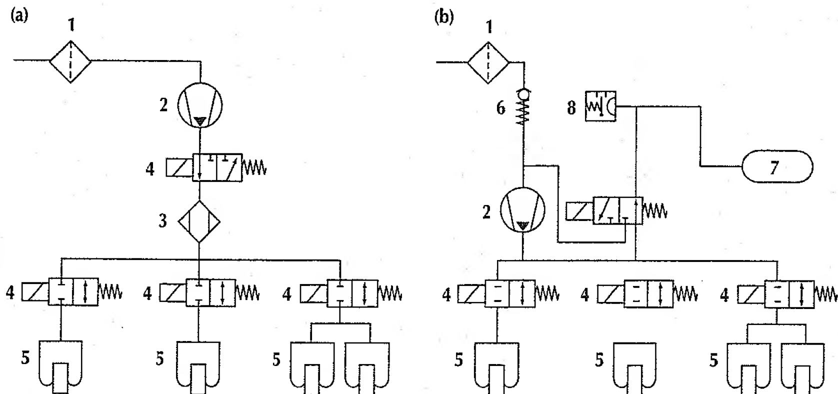
conectan reguladores electrónicos del nivel, los cuales regulan válvulas electromagnéticas.
Ventajas del sistema electrónico:
– necesita poca energía por evitarse los ciclos de regulación al frenar, acelerar o tomar curvas,
– la estructura del vehículo se baja en función de la velocidad para ahorrar combustible,
– la estructura del vehículo levanta en trayectos de calzada defectuosa,
– mejora de la estabilidad en las curvas mediante el bloqueo transversal de los muelles de un eje.
Ventajas adicionales para vehículos industriales:
– limitación automática de carrera para camiones de caja abierta y de contenedores,
– posibilidad de ajuste a discreción del nivel para adaptar p.ej. la superficie de carga a la altura de un muelle de carga,
– regulación del eje de elevación (incremento automático del nivel durante el levantamiento del eje de elevación), disminución automática de la altura al rebasarse la carga admisible sobre los ejes de tracción, levantamiento temporal breve (2 a 3 minutos) del eje de elevación para el incremento de la carga sobre eje de tracción (ayuda de arranque).

Regulación hidroneumática del nivel (sistema de soporte parcial)
1 *Conexión de aceite,* **2** *Muelle de acero,* **3** *Acumulador de fuerza de muelle,* **4** *Volumen de gas,* **5** *Membrana de goma,* **6** *Aceite,* **7** *Manguito,* **8** *Amortiguador*



Sistemas de soporte total
El muelle de gas se encarga por sí solo de la función de suspensión; los muelles helicoidales quedan suprimidos. Se regula o bien sólo un eje (normalmente el trasero) o también todos los ejes del vehículo. La regulación de todos los ejes necesita una maniobra de regulación que se determina en un dispositivo electrónico de mando y que comprende p.ej. la actuación alternante en los ejes, para evitar inclinación de la estructura del vehículo, la supervisión de los tiempos de regulación y el reconocimiento de fallos en el sistema.

Regulación de nivel (sistemas de soporte total)
(**a**) *Sistema abierto,* (**b**) *Sistema cerrado*
1 *Filtro,* **2** *Compresor,* **3** *Secador,* **4** *Válvula de paso,* **5** *Fuelle,* **6** *Válvula de retención,* **7** *Deposito de presión,* **8** *Interruptor de presión*



Sistema abierto:
Ventajas: construcción a bajo coste, regulación sencilla.
Desventajas: alta potencia de compresor para tiempos cortos de regulación, requiere secador de aire, ruidos al aspirar y expulsar.

Sistema cerrado:
Ventajas: potencia reducida de compresor (poca diferencia de presión entre acumulador y muelle), ausencia de problemas con la humedad del aire.
Desventajas: mayor coste de aparatos (acumulador, interruptor de presión, válvula de retención).
Los muelles neumáticos tienen un menor peso en comparación con los muelles hidroneumáticos.

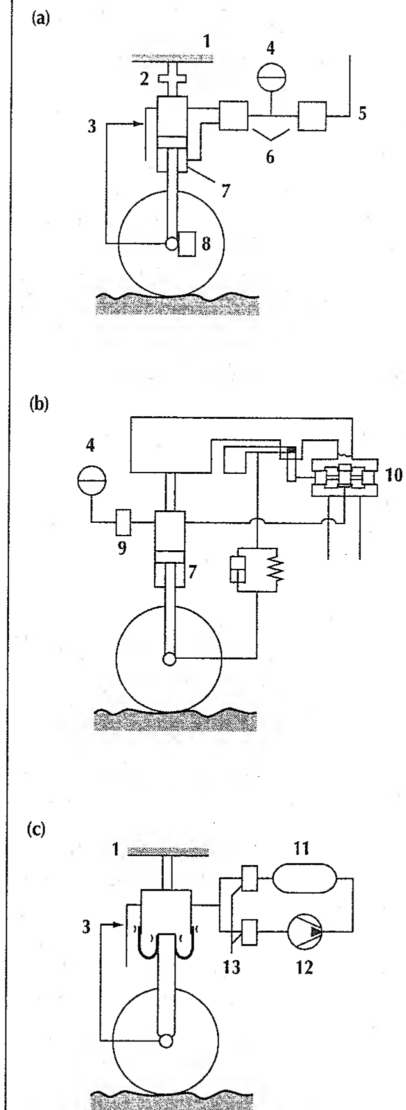
Suspensión activa

La suspensión activa abarca la regulación de las funciones de "suspensión" y de "amortiguación". Se realiza según distintas formas de ejecución.

Ejecución con cilindro hidráulico

Los cilindros hidráulicos, rápidamente ajustables mediante energía auxiliar, están conectados con la estructura del vehículo a través de sensores. Sensores de carga sobre la rueda, de recorrido y de aceleración envían señales a un dispositivo electrónico de mando con un ciclo de regulación de pocos milisegundos.
La regulación obtiene una carga sobre la rueda casi constante y una altura promedio del vehículo constante. Unos muelles de acero o hidroneumáticos soportan la carga estática sobre la rueda.

Suspensión activa
(**a**) *Cilindro hidráulico,* (**b**) *Suspensión hidroneumática,* (**c**) *Suspensión neumática.*
1 *Estructura del vehículo,* **2** *Sensor de carga sobre la rueda,* **3** *Sensor de recorrido,* **4** *Acumulador,* **5** *Circuito de bombeo,* **6** *Servoválvula,* **7** *Cilindro de ajuste,* **8** *Sensor de aceleración,* **9** *Amortiguador,* **10** *Válvula,* **11** *Deposito,* **12** *Compresor,* **13** *Válvula electromagnética*



Ejecución con sistema de suspensión hidroneumática (regulación de aceite)

Una regulación especial de aceite en el sistema de suspensión hidroneumática regula los movimientos de la estructura. Se introduce o expulsa aceite hidráulico de los muelles hidroneumáticos. Para reducir la energía necesaria, se regulan solamente las ondas largas desiguales. Un acumulador de gas, cerca del muelle telescópico, se encarga de las características de suspensión para frecuencias más altas.

El elemento de amortiguación se puede ajustar esencialmente a los movimientos de la rueda.

Ejecución con suspensión neumática

Una alimentación en línea de aire comprimido en fuelles regula los movimientos de la estructura. El sistema cerrado del muelle neumático se encarga sólo de la regulación de las oscilaciones de onda larga y de los movimientos de balanceo condicionados a la conducción.

La compensación de las fuerzas transversales permite emplearla también en ejes con muelles telescópicos.

Amortiguadores de oscilaciones

Los amortiguadores telescópicos transforman la energía de las oscilaciones de la estructura y de las ruedas en calor. Están sujetos a la estructura y a los ejes mediante cojinetes elásticos para el aislamiento acústico.

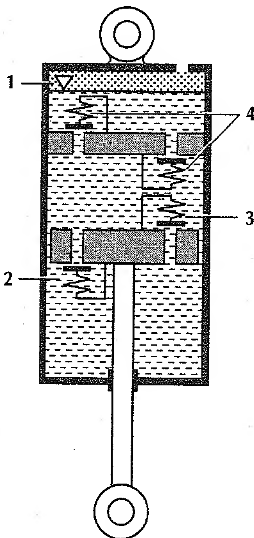
Amortiguador monotubular

El amortiguador monotubular posee émbolos separadores móviles y relleno de gas como amortiguador de gas.

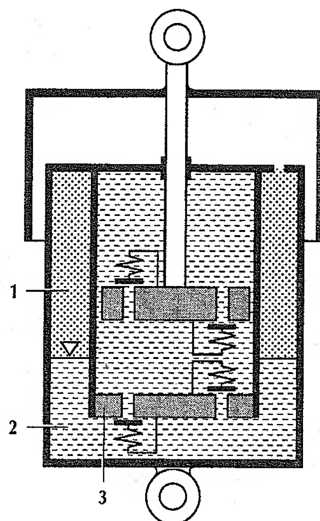
Ventajas: posibilidad de ajuste conveniente, puesto que la presión de trabajo en el amortiguador es baja por el diámetro grande del émbolo. Suficiente espacio para los canales y las válvulas. El calor se descarga directamente por el tubo exterior. El montaje del amortiguador es independiente de su posición.

Desventajas: gran longitud constructiva. El tubo exterior como guía del émbolo está en peligro de recibir golpes de piedras. No se puede situar el tubo en lugares estrechos del chasis. La empaquetadura del vástago del émbolo está expuesta a la presión del amortiguador.

Amortiguador monotubular
1 *Presión atmosférica,* **2** *Válvula, muelle blando,* **3** *Válvula, muelle duro,* **4** *Válvula de retención*



Amortiguador bitubular
1 *Presión atmosférica,* **2** *Deposito de reserva,* **3** *Válvula de fondo*



Amortiguador bitubular

Este modelo puede ser como amortiguador atmosférico y como amortiguador de baja presión.

Ventajas: no es sensible a golpes de piedras. Posibilidad de montaje en lugares estrechos. Longitud corta de montaje, puesto que el compartimiento de compensación está al lado del cilindro de trabajo.

Desventajas: estos amortiguadores se exponen fácilmente a sobrecarga (dejan de tener efecto de amortiguación). Sólo son posibles posiciones definidas de colocación.

Característica de amortiguación

La característica de amortiguación resulta de la acción de la amortiguación de orificio y del muelle situado en la abertura del canal, el cual abre más la descarga al aumentar la presión. Coordinando los cilindros de los émbolos y los diafragmas se obtienen curvas características de amortiguación que van de lineales hasta decrecientes. Mediante ajustes conmutables en el amortiguador se pueden realizar diversas curvas de características en el mismo amortiguador. A menudo los valores de los escalones de presiones importan sólo un 30 a 50% de los valores de los escalones de tracción.

Mediante amortiguadores variables regulados electrónicamente (ajuste "adaptivo" a la situación de marcha) se mejoran la seguridad y el confort de marcha. Los escalones fijos de amortiguación, por el contrario, producen unas relaciones definidas entre confort y seguridad.

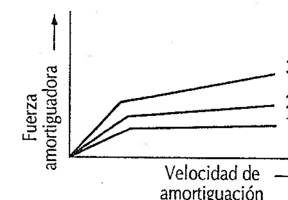
Como pauta de regulación a menudo se utiliza la amortiguación semiactiva "Skyhook". El amortiguador es regulado según la velocidad de la estructura.

Supresor de vibraciones

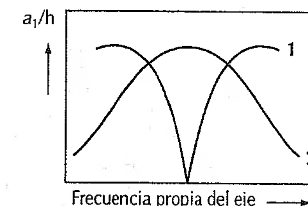
El supresor de vibraciones es una masa auxiliar montada en el vehículo de forma que amortigua y hace de muelle. Las oscilaciones del sistema principal son adoptadas por el supresor de vibraciones, es decir que el sistema principal ya no vibra, sino que vibra el supresor de vibraciones. (Ver "Oscilaciones", pág. 39).

Los supresores de vibraciones influyen en las oscilaciones de la carrocería; los efectos sobre el chasis son escasas.

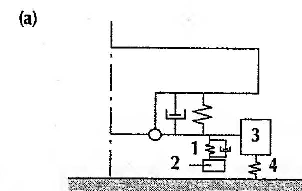
Curvas características de amortiguación (escalones de tracción)
1 *Confort,* **2** *Normal,* **3** *Deportivo*

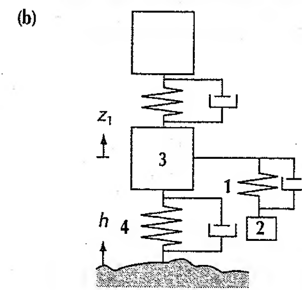


Función de ampliación de la aceleración axial
1 *Con supresor,* **2** *Sin supresor*
a_1 *Amplitud de* z_1*,* h *Amplitud de excitación*



Supresión de vibraciones
(a) *Disposición en el vehículo,* **(b)** *Sistema mecánico sustitutivo*
1 *Muelle y amortiguador de supresión,* **2** *Masa supresora,* **3** *Masa de la rueda,* **4** *Muelle de neumático*





Elementos de la suspensión (Tabla 2)

Elementos de la suspensión	Representación gráfica	Influencia de la carga sobre la frecuencia propia de la estructura	Características
Muelles de acero Ballesta	Ballesta de Automóvil; Ballesta con muelle adicional para camiones F		De una o más hojas. En algunas aplicaciones se encarga de la conducción de la rueda. Según el tipo de construcción la adhesión por fricción, se reduce con una capa intermedia de plástico (posibilidad de ruidos). En camiones generalmente sin capa intermedia. Mantenimiento necesario. Conducción favorable de fuerzas en el bastidor.
Muelle helicoidal	Muelle cilíndrico; Muelle de tonel	$\frac{\nu_{bel}}{\nu_{leer}} = \sqrt{\frac{m_{leer}}{m_{bel}}}$ La frecuencia propia disminuye con el aumento de carga. Las curvas características generalmente son lineales.	Curva característica progresiva mediante perfil cónico o variación del paso helicoidal. El amortiguador puede ir dentro del muelle. No tiene amortiguación propia, posibilidad de vibraciones del muelle. Ventajas: necesidad de poco espacio, peso reducido, sin mantenimiento. Desventajas: se requieren elementos adicionales para el guiado de la rueda.
Muelle de barra de torsión			De acero redondo o plano (de acero redondo pesa menos). Según tipo de construcción es posible variar la altura del vehículo. Exento de desgaste y de mantenimiento. Con esfuerzo de flexión adicional se añade un paquete de aceros planos.
Muelles neumáticos Fuelle arrollable Muelle tórico	Muelle con volumen constante de gas 1 Bastidor, 2 fuelle arrollable, 3 émbolo, 4 admisión de aire, 5 placa de apriete Muelle arrollable; Muelle tórico 1, 2, 3, 4, 5	$\frac{\nu_{bel}}{\nu_{leer}} = 1$ La frecuencia propia permanece constante al aumentar la carga. Las curvas características dependen de las propiedades del gas, de la forma del émbolo de enrollado y del ángulo del hilo del fuelle.	Como muelle telescópico o muelle independiente, principalmente en vehículos industriales y autocares. Aplicación creciente en automóviles para regulación de nivel en el eje trasero y suspensión completa. Realización de rigidez blanda vertical de muelle (mayor confort de marcha). La conducción de la rueda debe efectuarse con guías aparte. La presión baja requiere grandes volúmenes. Relación de muelle vertical reducida imposible de alcanzar mediante configuración geométrica del fuelle tórico.

Elementos de la suspensión	Representación gráfica	Influencia de la carga sobre la frecuencia propia de la estructura	Características
Muelles hidroneumáticos Acumulador hidráulico de membrana Acumulador de émbolo	Muelle con masa constante de gas 1 gas, 2 aceite, 3 membrana, 4 muelle de acero Acumulador hidráulico de membrana; Acumulador de émbolo 1, 2, 3; 1, 2, 4	$\frac{\nu_{bel}}{\nu_{leer}} = \sqrt{\frac{m_{bel}}{m_{leer}}}$ La frecuencia propia aumenta con la carga. Las curvas características son progresivas y dependen de la presión inicial de llenado del acumulador.	El volumen de gas en el acumulador (separado del aceite por un émbolo) determina las características de la suspensión. El gas es comprimido por medio de aceite hidráulico según la carga correspondiente sobre la rueda. Las válvulas de amortiguación están integradas en el amortiguador y en la unión entre muelle telescópico y acumulador. Debido a la difusión del gas la membrana de goma necesita mantenimiento.
Muelle de goma	F, F, F	La frecuencia viene influida por la carga creciente debido a la rigidez no lineal del muelle.	Muelle de empuje de goma vulcanizada entre piezas de metal, de forma creciente con amortiguación hidráulica integrada. Se utiliza como muelle adicional para equipos (motor, caja de cambios), la dirección y como muelle adicional.
Estabilizador		No influye en la suspensión del mismo lado. Eficacia media como rigidez de estabilizador en suspensión unilateral y total en suspensión alternante entre los lados.	Se reduce la tendencia al balanceo de la estructura e influye en el comportamiento del vehículo en las curvas (sobrevirado y subvirado). Generalmente material redondo macizo o tubular doblado en U; a menudo las manguetas son aplanadas por laminación por los esfuerzos de flexión. Para realizar estabilizadores el menor diámetro posible, los puntos de sujeción deben estar bien fuera en el eje. Los ejes giratorios de la dirección tienen que ajustar a la posición del estabilizador de manera que la solicitación del estabilizador sólo sea a torsión y no a la flexión.

Suspensión de las ruedas

La suspensión de las ruedas es la unión entre la estructura del vehículo y la rueda con su neumático. La rueda puede moverse principalmente en dirección vertical para compensar irregularidades de la calzada. Las ruedas delanteras están articuladas; en vehículos con eje trasero articulado también lo están las ruedas traseras. Basándose en las posibilidades de dirección, se diferencia entre suspensiones de eje delantero y de eje trasero. Mediante formas apropiadas de la suspensión de las ruedas y de la suspensión elástica se reducen no sólo los movimientos verticales, sino también el balanceo y el cabeceo.

Cinemática

Las ruedas delanteras giran alrededor de ejes inclinados en el espacio, unidos por las articulaciones de la suspensión de la rueda.

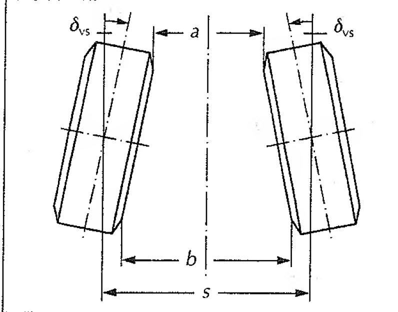
Los siguientes datos cinemáticos son de importancia para las posiciones de las ruedas en el virado y para la transmisión de fuerzas entre neumático y calzada por el varillaje de la dirección.

Convergencia δ_{vs}

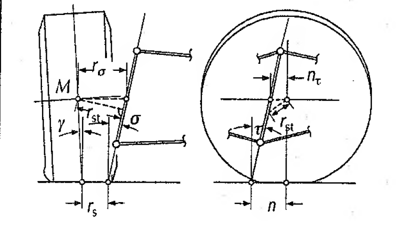
La convergencia de una rueda es el ángulo entre el eje longitudinal del vehículo y el plano central de la rueda o bien la mitad de la diferencia de distancias tomadas delante y detrás de la llanta de la rueda a la altura de su centro. Influye en la marcha en línea recta así como también en el comportamiento de la dirección y compensa en las ruedas de tracción delantera las variaciones elastocinemáticas que se producen en la rodada. En accionamientos estándar la convergencia es de 15 a 25', la convergencia posterior de las ruedas delanteras motrices es de hasta –20' (compensación de fuerzas de accionamiento).

Brazo de palanca de fuerzas de interferencia r_{st}

Es la distancia menor entre el centro de la rueda y la mangueta. Su longitud es una cota para los efectos retroactivos de las fuerzas motrices en vehículos de tracción delantera, y por tanto de las fuerzas de resistencia a la rodadura sobre la dirección.



Convergencia
δ_{vs} Ángulo de convergencia, distancia de las ruedas: a Adelante, b De atrás, b-a Convergencia (en mm), s Ancho de vista



Posición de la rueda
M Centro de la rueda, r_{st} Brazo de palanca de fuerzas de interferencia, n_τ Avance añadido, n tramo de avance, τ Ángulo de avance, r_σ Separación mangueta, r_s Radio del círculo de giro, γ Ángulo de caída rueda, σ Ángulo caída mangueta

Tramo de avance *n*

El tramo de avance (del pivote de la mangueta) es la distancia entre el punto de contacto de la rueda en la calzada y el punto de incidencia de la prolongación del eje de dirección en la calzada, medido en alzado lateral. Su misión es el retroceso de las ruedas a su posición de marcha en línea recta, influenciando el par de dirección en las curvas y la estabilidad en la marcha en línea recta.

Angulo de avance τ

El ángulo de avance es el ángulo entre el eje de dirección y la vertical en alzado lateral. Influye, junto con la caída de la mangueta, en la variación de la inclinación en el virado de la rueda así como también en el comportamiento de recuperación de la dirección.

Radio del círculo de giro de la mangueta r_s

El radio del círculo de giro de la mangueta es la distancia entre el punto de contacto de la rueda en la calzada y el de incidencia en ésta de la prolongación del eje de la mangueta. Esa distancia es negativa cuando el punto de incidencia del eje de la mangueta queda por fuera del punto de contacto de la rueda respecto al eje longitudinal del vehículo. Las fuerzas de frenado, en acción conjunta con el radio de giro, generan movimientos en la rueda y pares de recuperación (informaciones del conductor). Con radio de giro negativo se obtienen ángulos de dirección autoestabilizantes.

Ángulo de inclinación (caída) de la rueda γ

La caída es el ángulo de inclinación del eje de la rueda respecto a la calzada en el plano vertical. Cuando la mitad superior de la rueda queda hacia dentro, la caída es negativa. Influye en la guía lateral (considerando los neumáticos, las caídas son hoy tan sólo de 3° a 0°, limitadas por las características de las cubiertas.

Caída de la mangueta

El ángulo formado entre la mangueta y el plano longitudinal del vehículo metido en el plano transversal. Influye en el par de conducción (conducción suave) junto con el avance, el tramo de avance y el radio de giro de la mangueta.

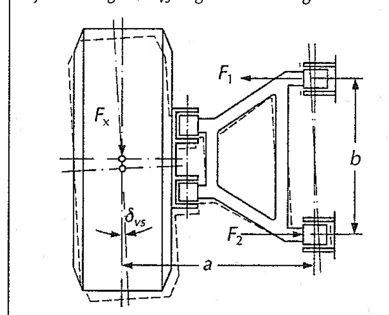
Tipos básicos

(Ver tablas en las págs, siguientes)

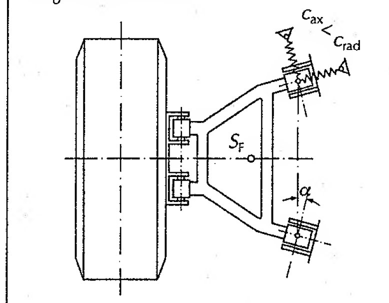
Cinemática elástica

Las características cinemáticas de la suspensión de una rueda, determinadas por la guía del eje, y la variación de los datos cinemáticos por la la suspensión elástica, influyen la vía y la inclinación (caída). Adicionalmente las fuerzas que atacan a la suspensión de la rueda (fuerzas de accionamiento, de frenado, laterales, de resistencia a la rodadura y verticales) tienen efecto también sobre las posiciones cinemáticas de la rueda (cinemática de deformación elástica: cinemática elástica), debido a la elasticidad de los cojinetes y de las piezas. Generalmente se procura contrarrestar, mediante efectos cinemáticos y de cinemática elástica, las variaciones concretas de la posición de la rueda. Para ello se conciben la cinemática y las elasticidades del eje de tal forma, que los efectos por influencias de fuerzas y de la suspensión elástica se complementen mutuamente. Empleando cojinetes de guías articuladas se producen ángulos de cardan al muellear. Estos limitan (según sea la construcción de los apoyos de goma) las posibilidades de compensación de la cinemática elástica.

En algunas suspensiones modernas del eje trasero se utiliza una conducción de cinemática elástica para reducir reacciones de cambios de carga. Fuerzas diferentes longitudinales y verticales en las ruedas causan un giro del soporte del eje, suspendido elásticamente, o de guías individuales. Así las ruedas en el exterior de la curva adquieren mayor convergencia (virados estabilizadores de conducción de las ruedas traseras).



Posicionamiento elástico de la rueda por fuerza longitudinal F_x
F_1, F_2 Fuerzas de cojinetes de guía, a distancia de ejes de cojinete de rueda/cojinete de guía, b Distancia de cojinetes de guía, δ_{vs} Ángulo de convergencia



Empleo de los cojinetes de guía para la compensación del virado elástico de dirección
S_F Centro de gravedad, (A reducción, B compensación total), c_{ax}, c_{rad} Constantes de muelle axial/radial, α Ángulo de inclinación

Tipos básicos y características de suspensiones de ruedas

<table>
<tr><th colspan="5">Ejes rígidos</th></tr>
<tr><td>Ballesta</td><td>Brazo triangular
Brazo longitudinal</td><td>Varillaje activo
Barra de tracción</td><td>Vástago Panhard
Barra de tracción
Brazo longitudinal</td><td>Vástago Panhard
Brazo longitudinal</td></tr>
<tr><td colspan="5">Aplicación como eje trasero en tracción estándar; como eje delantero y trasero en vehículos industriales y de todo terreno</td></tr>
<tr><td colspan="5">Ancho de vía, convergencia y caída siempre constantes hacia la carretera, también en inclinación lateral de la estructura, buena seguridad de vía</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Bajo coste de fabricación, mucha masa sin suspensión elástica, deformación desfavorable bajo fuerza y par laterales</td><td colspan="4">Ausencia de movimientos laterales al muellear, ausencia de posiciones desfavorables de las ruedas debidas a fuerzas y pares transversales o longitudinales</td></tr>
<tr><td>Polo de cabeceo elegible a discreción
Costes y peso altos</td><td></td><td>Vástago Panhard causa movimientos laterales de la estructura al muellear</td><td>Polo de cabeceo elegible a discreción</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Ejes traseros</th></tr>
<tr><td>Brazo de torsión</td><td>Brazo de biela</td><td>Brazo de bielas acopladas</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Aplicación como eje trasero en tracción delantera</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Fuerzas de carrocería reducidas por gran distancia entre apoyos, favorable introducción de fuerzas en el exterior del soporte longitudinal rígido, fabricación sencilla, dos apoyos, montaje sencillo, muy robusto, posibilidades cinemáticas limitadas</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>WZ según ubicación del vástago Panhard por encima del centro de la rueda</td><td>WZ por debajo del centro de la rueda (según sea la ubicación de la biela)</td><td>WZ sobre la calzada (todos los WZ en el medio del vehículo)</td><td>WZ = centro de tambaleo</td><td></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="5">Suspensiones independientes de las ruedas</th></tr>
<tr><td>Brazo longitudinal</td><td>Brazo transversal</td><td>Brazo oblicuo</td><td>Péndulo</td><td>Péndulo</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aplicación para eje trasero en tracción delantera o estándar</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Reducido requerimiento de espacio, bajo coste, posibilidades cinemáticas limitadas, variación de la caída, gran variación del avance, ubicación del polo del par, altas solicitaciones</td><td>Fabricación sencilla, posibilidades cinemáticas favorables, cinemática elástica desfavorable, sobrevirado por fuerzas laterales y tangenciales, elevadas fuerzas en los brazos</td><td colspan="3">Costes reducidos, posibilidades cinemáticas limitadas, en las curvas la estructura es presionada hacia arriba por las fuerzas laterales, efecto de apoyo con caída positiva</td></tr>
<tr><td colspan="2">Suspensión McPherson
Brazo transversal</td><td>Brazo doble</td><td colspan="2">Brazo longitudinal/transversal</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aplicación como eje delantero o trasero en tracción delantera o estándar</td><td></td><td colspan="2">Como eje delantero en tracción delantera y estándar</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Reducido requerimiento de espacio (ancho del vehículo), fuerzas de carrocería reducidas por una amplia base de apoyo, pocas articulaciones, facilidad de montaje, peso reducido.
Insensibilidad de tolerancias, posibilidades cinemáticas limitadas en cuanto a variación de la caída, ángulo de esparrancado, polos instantáneo y de cabeceo, requerimiento de espacio para el muelle, ancho del neumático, altura de la construcción.</td><td colspan="3">Libertad cinemática mayor posible, alto coste por gran número de articulaciones, tolerancias de estructura reducidas (sin tren delantero). La distancia relativamente pequeña entre los puntos de apoyo requiere apoyos relativamente rígidos para evitar fuertes variaciones de la posición de las ruedas (reducción del confort)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Introducción de fuerzas del brazo superior en el salpicadero rígido</td></tr>
</table>

Ruedas

Las ruedas modernas de los vehículos se componen por lo general de la llanta y del plato o disco de la rueda. La llanta sirve de soporte al neumático, y el plato une la llanta con el cubo de la rueda. El tamaño de la rueda viene determinado en primer lugar por la capacidad de carga del neumático. Los términos principales son: ancho de llanta, diámetro de llanta, agujero central, diámetro de centros de agujeros, número de agujeros para la fijación, tipos de avellanado y tornillos, profundidad de estampación del plato.

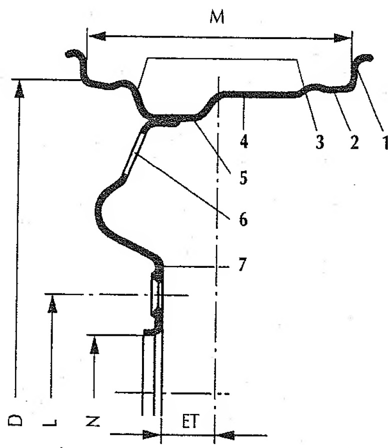
Tipos de llantas

Las llantas se diferencian (según el tipo de neumáticos) por ser de una sola pieza o de varias y por el perfil de la sección transversal. Las partes principales de la llanta son la pestaña (o talón), el espaldón y la garganta. Los perfiles de la sección transversal de la llanta son:

- de fondo profundo,
- de fondo plano,
- de espaldón oblicuo,
- de espaldón empinado.

***Rueda de disco** (por ejemplo 6J × 14 H2)*

1 Pestaña (por ejemplo, Forma J), 2 Espaldón oblicuo, 3 Hump (por ejmplo, Doble Hump H2), 4 Llanta, 5 Fondo profundo, 6 Agujero de refrigeración, 7 Disco de la rueda, D Diámetro de llanta (por ejmplo, 14"), L Diámetro de centros de agujeros, M Ancho de llanta (por ejemplo, 6'), N Agujero central, ET Profundidad de embutición



Fijación de la rueda

Cumple dos funciones: Centrado de la rueda para conseguir una concentricidad aceptable, así como la transmisión de las fuerzas de la rueda al cubo, que tiene un efecto sobre la resistencia, y su duración, de la instalación de sujeción de la rueda.

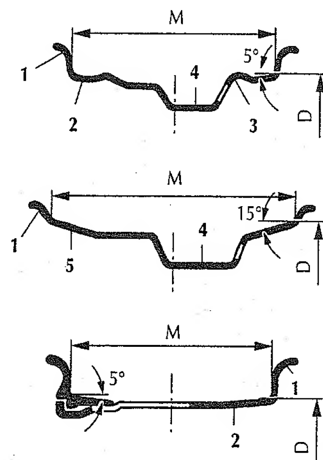
Ruedas para turismos

Se utilizan como materiales la chapa de acero para ruedas de serie, así como las de aluminio y (más raramente) magnesio, principalmente para equipos especiales, y ruedas de recambio en versión forjada y fundida. La chapa de aluminio, a pesar de su utilización en determinados casos, no se ha impuesto por motivo del precio.

La tendencia hacia la construcción ligera en el vehículo ofrece especialmente en el sector de las ruedas un fuerte potencial. Tanto la rueda de chapa de aluminio (con revestimiento total o lacado en color plata metalizado como variante de estilo) como también la rueda partida, como desarrollo basado en la clásica rueda forjada, pertenecen a los tipos más livianos dentro de un precio razonable.

Sistemas de llantas

(a) Llanta de hump para turismos según DIN 7817, (b) Llanta de espaldón inclinado (sin cámara) para camiones según DIN 78022, (c) Llanta de espaldón oblicuo para camiones según DIN 7820, 1 Pestaña, 2 Espaldón oblicuo, 3 Hump, 4 Fondo profundo, 5 Espaldón inclinado, M Ancho de llanta, D Diámetro



Mientras que los procedimientos de fabricación de la rueda de dos piezas de chapa de aluminio y el de la rueda de acero prácticamente son idénticos, se diferencia dos variantes en la rueda partida de una sola pieza:

1. Un perfil de varilla prensada conformada por un proceso de forja, el cual en su circunferencia es laminado y partido.
2. Un aro de chapa estampado y embutido partiendo de un rollo de fleje.

Otros tipos de ruedas livianas, pero que por su poca aplicación aún carecen de importancia, son la rueda de aluminio con llanta laminada a presión y la rueda estructurada, la cual solo está concebida para la transmisión de fuerza y no por su aspecto. Puesto que pueden montarse recubrimientos, se dan múltiples posibilidades de diseño en cuanto a material, forma y color.

Las ruedas de plástico están todavía en fase de desarrollo, debido a sus restricciones por insuficiente resistencia térmica y problemas de sujeción y fabricación.

El plato de rueda y la llanta van soldados en las ruedas de chapa; y en las forjadas y coladas de material ligero son en general de una sola pieza. Los tipos desmontables, así como las de materiales diferentes, por ejemplo, plato de magnesio y llanta de aluminio, sólo se dan en casos especiales y en los coches de carreras. Las llantas de turismos que se emplean casi exclusivamente son las de fondo profundo con doble "Hump" H 2 (elevación entre el fondo y el espaldón); (raras veces con "Flat-Hump", elevación aplanada), espaldón oblicuo y pestaña J. En los vehículos pequeños se encuentra frecuentemente la pestaña baja B; las pestañas altas JK y K se utilizan raramente y sólo para pesos de vehículo superiores. Otros tipos nuevos de llantas que son de fabricación limitada, son la llanta TR de MICHELIN (en designación métrica), con neumáticos adecuados TRX, que permiten mayor espacio para los frenos, y las llantas DUNLOP, con estrías "Denloc", que también precisan de neumáticos especiales que conjuntamente tienen más seguridad contra pérdida de aire en marcha. Ambos sistemas de rueda/neumático vienen unidos en el sistema TD (TRX-Denloc). Al ser diferentes de la práctica actual, en general resulta que estos tres tipos, tanto en lo que respecta a las llantas como a los neumáticos, sólo son difícilmente o apenas combinables con los tipos habituales. En un desarrollo completamente nuevo el neumático agarra alrededor de la llanta (CONTINENTAL). Este concepto varía el orden de algunas características de uso y permite proseguir el viaje varios cientos de kilómetros, a velocidad máxima limitada, en el caso de que el neumático se quede sin aire. En ese caso sobraría la rueda de recambio. Tampoco este sistema se ha impuesto en el mercado y queda reservado para aplicaciones especiales.

Con el fin de ahorrar espacio y —muy limitadamente— reducir peso, se viene introduciendo en Europa, proveniente de EE.UU., una rueda de emergencia como rueda de recambio. La rueda de emergencia va con un neumático adecuado de menor potencia. Su utilidad se juzga de diferentes maneras. Los criterios de instalación de ruedas en turismos son, entre otros: elevada resistencia de sus componentes, buena refrigeración de los frenos, fijación segura de la rueda, pocos fallos de concentricidad, poca necesidad de espacio, buena protección contra la corrosión, poco peso, bajo coste, montaje de los neumáticos sin problemas, buen asiento del neumático, buen asiento para los pesos del equilibrado y aspecto atractivo (especialmente en las ruedas de metal ligero). En los últimos tiempos se añade cada vez más a todo esto la influencia sobre el coeficiente c_W del vehículo.

La fijación de la rueda al vehículo se efectúa por lo general mediante tres a cinco tornillos o tuercas, cuya cara de contacto está hecha de forma especial de acuerdo con la rueda. En los coches de carreras no obstante, se emplea una fijación central como el cubo Rudge o pernos de arrastre.

Los tapacubos van entrados a presión en las ruedas (muy pocas veces van atornillados) debido a

- motivos de estética,
- al mejoramiento del valor c_W,
- la refrigeración de la rueda y/o de los frenos.

Los materiales tradicionales eran el acero y el aluminio. Por motivos de peso y de coste se han impuesto mucho los plásticos.

Ruedas para vehículos industriales

Las principales exigencias en la concepción moderna de las ruedas para vehículos industriales son:

– Elevada resistencia a la fatiga y duración, con el fin de garantizar al máximo la seguridad del tráfico.
– Menor peso de rueda posible, ya que la rueda como rodante, no compensada, influye en el sistema oscilante constituido por el vehículo.
– Elevada capacidad de carga mediante la forma apropiada de la rueda y utilización de los materiales óptimos.
– Disminución de los fallos de planitud de los platos.
– Reducción de los desequilibrados verticales y laterales así como de los rotatorios y
– Montaje sencillo por el fabricante del vehículo y en la utilización práctica.

Llanta con espaldón inclinado
Una construcción industrial moderna es la llanta de una pieza con espaldón inclinado 15°, para neumáticos sin cámara de vehículos industriales.

Ventajas:
– La rueda de una sola pieza reduce el peso de ésta hasta un 10% respecto a la llanta de dos piezas, y rueda con mayor planitud y concentricidad
– Aumento del diámetro de la llanta
– Suficiente espacio libre
– Válvula unitaria con posicionador exacto y acceso suficiente al tambor de freno o a la montura
– Forma unitaria para los pesos de equilibrado
– Incorporación del centraje en el centro
– Posibilita el empleo de máquinas de montaje automáticas o semiautomáticas

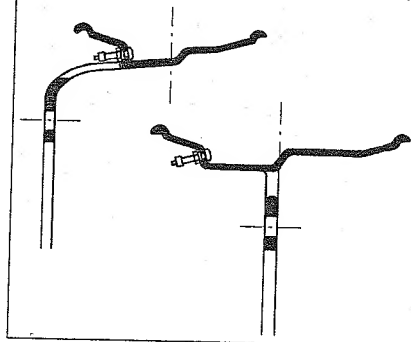
Saltos verticales y laterales, desequilibrado
El salto vertical de la rueda es una de las causas principales de excitación de las vibraciones del vehículo. La reducción de la tolerancia de concentricidad admisible para las llantas de espaldón inclinado utilizadas hoy día, a 1,25 mm (valores de punta a punta), aporta una clara mejora con respecto a las ruedas de fondo plano. El salto lateral desempeña un papel inferior al del salto vertical. Los desequilibrados de rueda no presentan problemas frente a los mayores desequilibrios de los neumáticos. Los desequilibrios estáticos admisibles están limitados a un máximo de 2000 cmg.

Centrado de la rueda
El centrado de los pernos por arandelas de muelle esféricas o sólo por tornillos con superficie de contacto esférica se substituyó a causa de las grandes variaciones de concentricidad, por el centrado en el centro, que permite un juego máximo y mínimo según el tamaño de la rueda, con lo que ésta se puede fijar con tolerancias más pequeñas.

Planitud de la superficie de apoyo
Las desigualdades de la superficie de apoyo de la rueda (ondulaciones, inclinaciones, bombeados, etc.) se transmiten a la rueda al apretar las tuercas, sobre el tambor de freno, lo que provoca oscilaciones de la fuerza de frenado al girar la rueda, que además generan vibraciones en la dirección. Los valores límite admisibles son para las ondulaciones 0,15 mm y para las inclinaciones 0,2 mm hacia fuera, determinados ambos por ensayos.

Sistema de rueda TRILEX
El sistema de rueda TRILEX con "Ruedas de radios" de fundición de acero consta de llanta y un cubo de estrella. Las llantas separables se sujetan al cubo de estrella mediante piezas de aprieto y tornillos. La llanta, para que montaje y desmontaje de los neumáticos con cámara sean más sencillos, es de tres piezas partidas transversalmente. En el caso de neumáticos sin cámara se puede montar en el mismo cubo de estrella la denominada llanta "Tublex". Un nuevo desarrollo es la rueda de espaldón inclinado fundida de una sola pieza MONOLEX, que es igual en peso que las ruedas de acero de peso optimizado.

Rueda MONOLEX con embutición profunda (izquierda) y sin embutición profunda (derecha)



Ruedas de metal ligero
La base de la utilización de ruedas de aleaciones ligeras es la reducción de peso en las ruedas de espaldón inclinado. Existen ruedas fundidas y forjadas. A pesar de la reducción de peso y suficientes propiedades de resistencia, la utilización de ruedas de aleación ligera ha quedado limitada en los vehículos industriales a unos pocos casos especiales por razones de coste.

Solicitaciones a que están sometidas las ruedas de los vehículos industriales

Tensión previa
Resultado de la superposición de las tensiones que se presentan en el montaje con las que se producen en el inflado de los neumáticos.

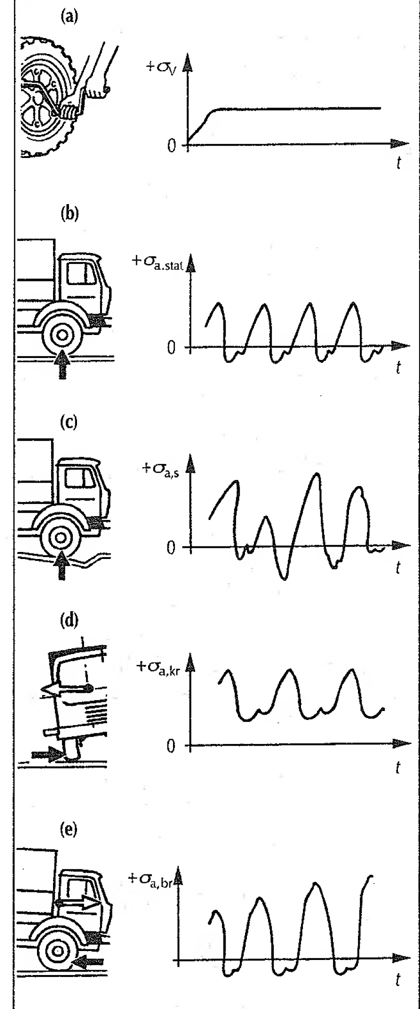
Tensión nominal estática de la rueda
Si se hace girar la rueda lentamente bajo la carga nominal estática sobre una calzada completamente llana, la tensión en la parte de rueda considerada varía periódicamente con el giro de la rueda.

Tensiones adicionales dinámicas
Estas tensiones adicionales que discurren de forma parecida se originan en las ruedas por las fuerzas dinámicas que aparecen al circular en línea recta, por las desigualdades de la calzada y por fuerzas en las ruedas casi estáticas que se originan al maniobrar el vehículo, tales como al tomar curvas, girar el volante con el vehículo parado, frenar y acelerar.
El colectivo total de tensiones resultantes de los esfuerzos reseñados se toma hoy como parámetro y punto de partida para el dimensionado y la comprobación de las ruedas.

Puntos débiles significativos
Las partes altamente solicitadas de las ruedas, y por ello con riesgo de formación de grietas, son la platina del disco, los agujeros de ventilación, la soldadura entre disco y llanta y el redondeo del fondo profundo de la llanta.

Especialmente peligrosa es la fijación por brida. Las ruedas centradas por el centro se rajan principalmente tangencialmente por encima del círculo de centros de agujeros. En el caso del centrado por tornillos, las grietas son principalmente radiales, transcurriendo de los agujeros de los tornillos hacia fuera.

Tipos de solicitaciones en las ruedas y distribución de las tensiones
(a) *Tensión previa* σ_V, (b) *Carga estática sobre la rueda* $\sigma_{a.stat}$, (c) *Marcha en línea recta con baches* $\sigma_{a,s}$, (d) *Marcha en curvas* $\sigma_{a,kr}$, (e) *Al frenar* $\sigma_{a,br}$



Neumáticos

Grupos de neumáticos

Los grupos de neumáticos cubren las necesidades para diferentes tipos de vehículos y tamaños así como las condiciones de trabajo. Los datos principales para las dimensiones, resistencias y presiones de aire necesarias de los neumáticos, así como las velocidades admisibles, están normalizados (Tabla 1), para asegurar su intercambiabilidad. Además de los neumáticos de aire están también los macizos, admitidos para velocidades máximas de 25 km/h (en ruedas tractoras sin amortiguamiento sólo hasta 16 km/h). La diferenciación principal se efectúa según las condiciones de uso impuestas a su vez por las condiciones de la calzada y se encuentra enumerada en los grupos de neumáticos 2 a 4, según:
- "Standard", neumáticos (de verano) para carretera y
- "Especial", tracción (M + S y todo terreno), donde bajo la denominación de neumáticos especiales entran tanto los neumáticos para carretera y todo terreno como los neumáticos puramente todo terreno no destinados a la circulación por carretera.

Básicamente, para cada grupo de neumáticos rige el mismo esquema de especificaciones sobre las características de utilización (Tabla 2), donde en la transición hacia los vehículos más pesados los datos importantes se desplazan a las tres últimas posiciones (especialmente a la N° 6).

Tipos de neumáticos

Los automóviles se equipan ya solamente con neumáticos radiales. Neumáticos tipo diagonal ya solamente se utilizan para motos, bicicletas, máquinas de movimiento de tierras, vehículos agrícolas e industriales; para vehículos de tracción industriales están perdiendo importancia.

El tipo diagonal, que originalmente era el único empleado, se llama así porque los hilos que forman las capas del cuerpo discurren "diagonalmente" (oblicuas) con respecto a la superficie de rodadura, y se entrecruzan (cross ply). Con esta construcción sencilla no se cumplen las múltiples exigencias actuales para los neumáticos, especialmente en turismos y camiones. Estos requisitos los cumple el tipo radial, más caro, que consiste en dos grupos principales, que también derivan su nombre de la dirección de los hilos de la capa o capas del cuerpo.

Discurren por el camino "radial", el más corto entre reborde y reborde. Un cinturón (belt) estabilizador circunda el cuerpo relativamente elástico y delgado. En EE.UU. se emplea fundamentalmente la composición "Bias-Belted" en la cual a un cuerpo construido en diagonal se le aplica adicionalmente un cinturón. Sin embargo, sus características de utilización quedan bien por debajo de la calidad de los neumáticos radiales.

Los neumáticos CT poseen características de funcionamiento de emergencia. Sin aire, la banda de rodadura se apoya en el realce interior de la llanta y permite así poder recorrer varios centenares de kilómetros.

El sistema Denloc TRX tiene cualidades de funcionamiento de emergencia limitadas. En caso de desinflado un borde especialmente conformado del reborde, que ajusta exactamente en una ranura del plato de rueda, evita que el reborde pueda resbalar hacia el interior de la llanta.

El neumático sin cámara se impone también cada vez más en los neumáticos para vehículos industriales, siempre que las llantas sean de una sola pieza y estancas al aire o pueden ser también de varias piezas, con los correspondientes anillos de junta elásticos. Los neumáticos sin cámara llevan una capa interior vulcanizada y estanca al aire en vez de la cámara.

El reborde de los neumáticos sin cámara debe apoyar en la llanta con mayor tensión inicial para que se produzca la estanqueidad en esa zona. A veces se utilizan además anillos de junta de elastómeros para el reborde.

De la ausencia de la cámara resultan ventajas de peso y de montaje.

Tabla 1. Grupos de neumáticos y normas correspondientes

N°	Utilización del neumático	Normas alemanas (selección)[1] DIN	WdK[2]
1	**Motos:** Motocicletas, scooters, motos de pequeña cilindrada, motociclos	7801, 7802, 7810	119
2	**Turismos:** Inclusives las combi y ruedas de recambio especiales	7803	128, 203
3	**Vehículos industriales ligeros** Incluidas las furgonetas	7804	132, 133
4	**Vehículos industriales** Incluidos los de uso múltiple	7805, 7793	134, 135, 142 143, 144, 153
5	**Máquinas para el movimiento de tierras** Vehículos de transporte, palas cargadoras, excavadoras	7798, 7799	145, 146
6	**Vehículos de transporte de superficie** Incluidos los de neumáticos macizos	7811, 7845	171
7	**Agricultura** Tractores, máquinas de trabajo, aperos, remolques	7807, 7808 7813	156, 161

[1] La base de normalización correspondiente a Europa es el "Libro de datos para cubiertas y llantas" de la ETRTO (European Tyre and Rim Technical Organization, Bruselas)
[2] Directriz de la Federación Económica de la Industria Alemana del Caucho, Frankfurt

Ejemplos de estructura radial (tipo sin cámara)
1 Hump, 2 Espaldón de la llanta, 3 Pestaña de la llanta, 4 Cuerpo, 5 Capa estanca de goma, 6 Cinturón, 7 Banda de rodadura, 8 Goma lateral, 9 Reborde, 10 Núcleo del reborde, 11 Válvula, 12 Anillo de cobertura, 13 Peso de equilibrado, 14 Apoyo de llanta realzado

Neumáticos radiales para automóviles *Cuerpo: dos capas radiales de cordones de rayón. Cinturón: dos capas entrecruzadas de cable de acero y dos capas circulares de cordones de nylon*

Neumáticos CT

Neumáticos radiales para vehículos industriales *Cuerpo: una capa radial de cable de acero. Cinturón: cuatro capas entrecruzadas de cable de acero*

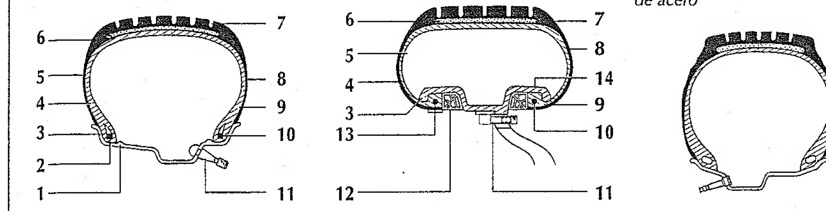


Tabla 2. Requisitos para las características de utilización

Nª	Criterios principales	Criterios auxiliares
1	Comodidad marcha	Comodidad suspens. y ruidos, suavidad marcha (condic. a la concentric. ruedas)
2	Comportam. direc.	Fuerza y precisión de la dirección[3]
3	Estabilidad marcha	Estabilidad en línea recta[3] y en las curvas[3]
4	Seguridad de marcha	Asiento del neumático en la llanta, arrastre de fuerza[3]
5	Duración	Duración estructural, velocidad que soporta, presión a que revienta, resistencia a la penetración
6	Rentabilidad	Mantenimiento (rendimiento en kilómetros), cuadro de desgaste, desgaste de la banda lateral, resistencia a la rodadura, capacidad de recuperación de la redondez

[3] criterios principales para calzadas en invierno.

Diámetro y forma de la llanta
En los grupos de neumáticos 3 y 4 se han impuesto, por ejemplo, las llantas enteras de espaldón inclinado (para neumáticos sin cámara), con respecto a las llantas partidas, de espaldón oblicuo. Se reconocen por su código del diámetro (la unidad 25,4 mm), con terminación del número en 0,5, tal como 17,5, 19,5 y 22,5.

Los códigos principales para las llantas de espaldón oblicuo son el 16 y el 20. Para los neumáticos de turismos, además de los normales de fondo profundo con números de código enteros, 10, 12, 13, etc., también existen construcciones especiales con denominación del diámetro en mm.

Relación transversal *H/B*
Relación $H/B = (H/B) \cdot 100$
H Altura de la sección del neumático
B Anchura de la sección del neumático.

Actualmente en los neumáticos para turismos los valores generalmente corrientes de la altura relativa en la sección transversal están entre 80 y 50, para automóviles deportivos hasta 35 y para los vehículos industriales entre 100 y 65.

La tendencia en los neumáticos para turismos es hacia valores *H/B* más bajos porque entonces la estabilidad en las curvas es mejor. A causa de la intercambiabilidad, se producen varias relaciones en sección transversal con el mismo diámetro exterior. Para un mismo diámetro y llanta, los neumáticos con valores de *H/B* más bajos son más anchos, tienen más superficie de contacto y son, sobre todo, de mucho efecto óptico.

En los neumáticos con valores *H/B* bajos se puede utilizar para un mismo ancho una llanta de mayor diámetro, que da más espacio para el freno de la rueda. Un neumático sin cámara para vehículo industrial, con valor *H/B* bajo, fue la condición previa para la introducción de las llantas enteras de fondo profundo con espaldón inclinado, ya que no era posible la disminución del diámetro del fondo por la necesaria invariabilidad del diámetro del tambor de freno.

Si fuera necesario un menor diámetro de neumáticos, para conseguir la máxima altura útil, por ejemplo, en el transporte de contenedores, sólo se presta como factible una mayor anchura, es decir un valor *H/B* más bajo.

Codificación de los neumáticos

La denominación de los neumáticos, que viene en la banda (tabla 4) se efectúa según las normas, teniendo en cuenta la normativa CEE número 30, prescrita legalmente en algunos países europeos, para neumáticos de turismos (excepto los neumáticos VR y ZR para velocidades de más de 210 km/h (VR) o 240 km/h (ZR)), y la número 54 para neumáticos de vehículos industriales (velocidad de 80 km/h y más), así como la normativa número 75 de la CEE para neumáticos de vehículos a dos ruedas (de más de 40 km/h o con motor de más de 50 cm³. Se excluyen los neumáticos V , VB, VR, ZB y ZR por encima de 210 o 240 km/h.

Los neumáticos clasificados según ECE se reconocen porque cerca del reborde llevan una E mayúscula grabada en caliente y el número distintivo del centro oficial que los homologa, dentro de un círculo a lo que sigue un número de autorización.

Ejemplo: (E4) 020427.

Equivalente con ECE los neumáticos de automóviles y de vehículos industriales se pueden marcar según la directiva europea para neumáticos 92/93 mediante una "e" minúscula como símbolo de certificación.

Ejemplo: (e4) 00321.

Están en preparación las normas para los neumáticos de motor y de vehículos agrícolas.

La designación de los neumáticos comprende como mínimo el ancho, el tipo constructivo (R = Radial; ,"--" = Diagonal; B = Bias belted [diagonal con cinturón]), así como finalmente el diámetro de la llanta. También el diámetro de la rueda es corriente que se indique en los neumáticos de carretillas elevadoras. Especialmente para los grupos de neumáticos de motocicletas, turismos y vehículos industriales se puede añadir, después del ancho, una barra inclinada y la relación *H/B* en tanto por ciento. En los tres grupos, según la normativa ECE, esto será necesario para todos los neumáticos futuros. En los neumáticos de motocicletas y turismos, a continuación de la relación *H/B* o del ancho de neumático puede ir también una letra indicativa

de velocidad, que, no obstante, no es necesaria para la identificación según la norma ECE. En los neumáticos diagonales se pone en el lugar de la raya horizontal. En los neumáticos VR, VB, ZR, y ZB debe ponerse siempre la letra en la designación del tamaño del neumático.

El número que se pone a continuación del tamaño del neumático, Número PR (Ply Rating) es hoy un código para la capacidad de carga de los diferentes tipos de un mismo tamaño de neumático. Correspondía antes al número de capas de la cubierta.

La característica de servicio que se pone igualmente a continuación como Índice de Carga (LI) y símbolo de la velocidad (GSY) substituye al número PR, o a letras de la velocidad, según la normativa ECE (con exclusión de los neumáticos VB, VR, ZB y ZR). Al código de la característica de servicio se le asignan unos valores fijos (tabla 3).

Para los neumáticos de turismos rige:
Velocidad nominal = Velocidad máxima. En el caso de velocidad máxima del vehículo de 60 km/h motivada por su tipo de construcción, y velocidades inferiores, se pueden utilizar capacidades de carga mayores.

Para los neumáticos de scooters y de vehículos industriales se pueden sobrepasar por lo general las velocidades nominales si al mismo tiempo se disminuye la capacidad de carga. Por debajo de la velocidad nominal (de referencia) para estos dos grupos de neumáticos se puede utilizar casi en todo el campo de velocidades una capacidad de carga más alta, cuando el vehículo, por su construcción, va más despacio. Además se permiten capacidades de carga superiores para los neumáticos de remolques de turismos hasta 100 km/h, así como en determinados vehículos industriales que hacen servicios de cercanías.

Las presiones de aire que corresponden al tamaño de los neumáticos más el dato PR o a la característica de servicio, se toman de las normas o manuales del fabricante (tabla 1). El símbolo de velocidad que va a continuación, nos da siempre la velocidad nominal real.

Para neumáticos de reserva especiales de turismos (que ahorran espacio y peso) se indica en la banda que solamente están admitidos para un servicio limitado en el tiempo y en velocidad máxima limitada.

Los neumáticos M + S para turismos, vehículos industriales y motocicletas no necesitan corresponderse con la velocidad máxima de circulación por motivos constructivos del vehículo, si en el campo visual del conductor y por medio de un adhesivo se indica la velocidad de circulación máxima admisible, más baja, condicionada por el tipo de neumático. Los siguientes grupos de neumáticos pueden además, cerca del reborde, llevar grabados en caliente los datos según las leyes de seguridad de EE.UU., que también se dan en Canadá y se utilizan igualmente en Israel:

– Neumáticos para turismo según FMVSS 109.
– Neumáticos para motocicletas y vehículos industriales según FMVSS 119.

Los datos comprenden la marca "DOT" y a continuación el código de identificación del neumático, así como otros datos principalmente sobre la capacidad o capacidades de carga máxima o máximas y la presión máxima admisible, y las capas de cordón utilizadas para el cuerpo y el cinturón.

La ley australiana de seguridad ADR 23 Para neumáticos de turismos utiliza denominaciones empleadas en la ley Nº 109 de EE.UU. y en la ECE R 30.

Tabla 3. Códigos de las características de servicio (Ejemplos)

Índice de carga LI

LI	50	51	88	89	112	113	145	149	157
kg	190	195	560	580	1120	1150	2900	3250	4125

Símbolo de velocidad

GSY	F	G	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	H	V	W	Y
km/h	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	210	240	270	300

Tabla 4. Ejemplos de codificación de neumáticos

Grupo de neumáticos	para vehículo	Ejemplo de codificación: Tamaño del neumático	Nº PR[3]	Caract. servicio [4] LI	[5] GSY	El ejemplo contiene datos para: Ø de neum. A	Ancho neum. B	H/B %	Ø de llanta d
Kr	Moto pedales	21/4 – 16 Moped	–	–	–	–	Código	–	Código
	Motos peq.	3 – 17 reinforced[2]	–	51	J	–	Código		Código
	Motocicletas	3.00 – 17 reinforced[2]	–	50	P	–	Código	–	Código
		110/80 R 18	–	58	H	–	mm	80	Código
		120/90 H 18	–	65	H	–	mm	90	Código
	Scooters	3.50 – 10	–	51	J	–	Código	–	Código
Turismos		165 SR 14 M + S	–	84	Q	–	mm	–	Código
		165 SR 14 reinforced[2]	–	88	R	–	mm	–	Código
		200/60 R 365	–	88	H	–	mm	60	mm
		205/60 ZR 15	–	–	–	–	mm	60	Código
		CT 235/40 ZR 475	–	–	–	–	mm	40	mm
Indus-triales	Furgonetas	185 R 14 C[1]	8 PR	102/100	M	–	mm	–	Código
	Camiones lig.	8 R 17.5 C[1]	–	113/112	M	–	Código	–	Código
	Camiones	11/70 R 22.5	–	146/143	K	–	Código	70	Código
	Remolques	14/80 R 20	–	157	K	–	Código	80	Código
	Autobuses	295/80 R 22.5	–	149/145	M	–	mm	80	Código
MPT	Veh. múlt. usos	10.5 R 20 MPT[8]	14 PR	134	G	–	Código	–	Código
Obras	Veh. tr. tierr.	18.00–25 EM[9]	32 PR	–	–	–	Código	–	Código
	Palas carg.	29.5–29 EM[9]	28 PR	–	–	–	Código	–	Código
Trans. inter.	Carret. trans.	6.50–10[6]	10 PR	–	–	–	Código	–	Código
	Carros carga	21 × 4[6]	4 PR	–	–	Código	Código	–	–
	Carret. transp.	28 × 9 – 15[7]	14 PR	–	–	Código	Código	–	Código
		300 × 15[7]	18 PR	–	–	–	mm	–	Código
Campo	Tractores	480/70 R 34	–	143	A8	–	mm	–	Código
		7.50 – 60 AS[10] Front (delant.)	6 PR	–	–	–	Código	–	Código
	Aperos[11]	11.0/65 – 12 Impl.	6 PR	–	–	–	Código	65	Código

(1) C = Neumáticos para furgonetas y camiones ligeros (también para neumáticos de capacidad de carga extrema para scooters).
(2) Reinforced = Denominación adicional para neumáticos reforzados para motos y turismos.
(3) PR = Clase de capacidad de carga.
(4) Código de capacidad de carga para neumáticos sencillos o gemelos.
(5) Código de velocidad para la velocidad nominal o de referencia del vehículo.
(6) Neumáticos de aire.
(7) Neumáticos macizos.
(8) Multipurpose Tire (neumático multiuso).
(9) EM= máquinas de movimiento de tierras.
(10) AS= remolque agrícola.
(11) Neumático para máquinas y remolques.

Utilización de los neumáticos

La condición para el aprovechamiento correcto es la elección adecuada del neumático según las recomendaciones del fabricante. Si un vehículo se instala con todos los neumáticos del mismo tipo (por ejemplo, radiales), se garantiza con ello las características de conducción óptimas. En el caso de un eventual almacenamiento transitorio de los neumáticos, las cámaras y las bandas pueden envejecer rápidamente y aparecer grietas bajo un sol intenso. El aire en movimiento favorece este proceso.

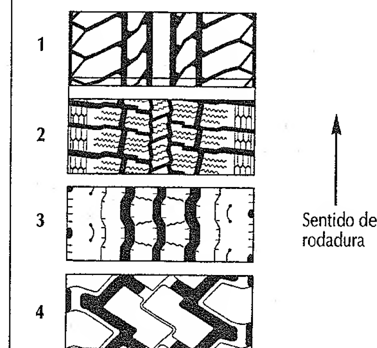
Un peligro especial existe en el caso de las cámaras, cuando su embalaje está dañado. Por esto el almacén debe ser lo más fresco, seco y oscuro posible. Hay que evitar el contacto con los aceites y las grasas.

Hay que prestar mucho cuidado al montaje de los neumáticos. Las llantas han de ser de las medidas correctas, no estar oxidadas, no tener desperfectos ni estar desgastadas. Es muy importante comprobar el lado libre de la pestaña.

Para los neumáticos nuevos siempre hay que poner cubiertas nuevas sin cámara o cámaras nuevas y bandas nuevas. También después de reparar algún neumático hay que tener un cuidado especial con lo siguiente: las cámaras "crecen" en servicio y al volverlas a montar se pueden formar unos pliegues peligrosos. Por ello, en caso de duda, hay que poner una cámara nueva.

Perfil de los neumáticos (ver ejemplos)
En los neumáticos de motocicletas y de turismos está legalmente prohibido repasar el perfil (profundizar un perfil gastado). En otros grupos de neumáticos hay que respetar las indicaciones del fabricante.

En el caso de un desgaste axial desigual, se recomienda intercambiar los neumáticos. Cuando la profundidad del perfil del neumático disminuye, es que queda también menos material para proteger el cinturón que está debajo o el cuerpo en sí. Esto hay que tenerlo en cuenta para las aplicaciones en trabajo duro y para una larga duración. Otra cuestión a tener en cuenta en los turismos y vehículos industriales rápidos es que al haber menos arrastre de fuerza, la distancia hasta el reposo al frenar aumenta de forma desproporcionada con la calzada mojada. Partiendo de una velocidad de 100 km/h resultan los valores de la tabla 5 (muy dependientes de la superficie de la calzada, de la profundidad del perfil y de la mezcla de la goma del neumático) para p.ej. un vehículo liviano con tracción delantera y un automóvil más pesado con tracción trasera.



Ejemplos de perfiles de neumáticos
1 Neumático general de automóvil, 2 Neumáticos M+S de automóvil, 3 Neumático general de vehículo industrial, 4 Perfil de tracción de vehículo industrial

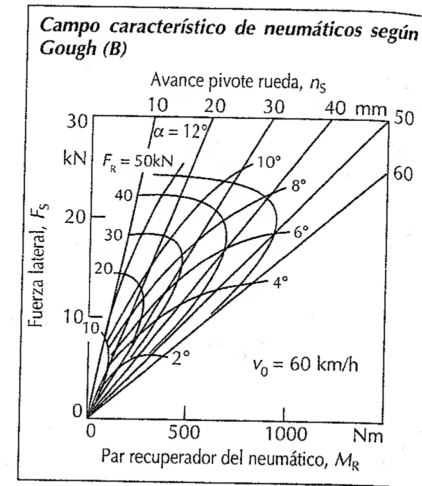
Tabla 5. Profundidad de perfil y recorrido de frenado (yendo a 100 km/h)

Vehículo		Turismo ligero con tracción delantera					Turismo pesado con tracción posterior			
Profundidad de perfil	en mm	8	4	3	2	1	8	3	1,6	1
Recorrido de frenado	en m	76	99	110	129	166	59	63	80	97
	en %	100	130	145	170	218	100	107	135	165
Incremento recorrido frenado por mm des.	en %	7	15	25	48		1,4	20	50	

Características de la transmisión de fuerza de los neumáticos

Magnitudes y unidades

Magnitud		Unidad
f	Frecuencia	Hz
F_B	Fuerza de frenado	kN
F_R	Carga en la rueda	kN
F_S	Fuerza lateral	kN
M_R	Par de retroceso	N · m
n_S	Avance pivote rueda	mm
p_i	Presión interna del neumático	bar
v_0	Velocidad de comprobación	km/h
α	Ángulo de marcha oblicua	°
γ	Ángulo de convergencia	°
λ	Resbalamiento	–

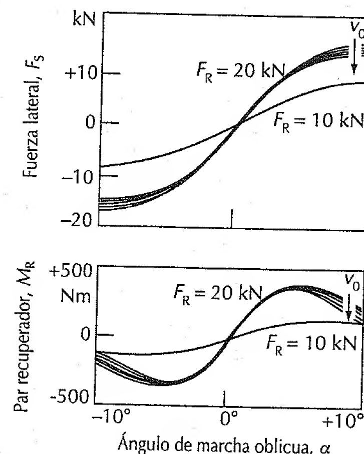


Campo característico de neumáticos según Gough (B)

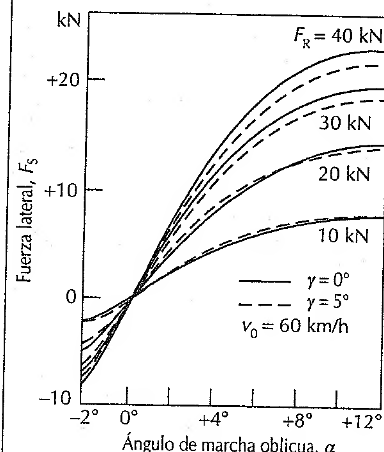
La condición previa para la interpretación y optimización del comportamiento en marcha y de su comodidad, así como de las oscilaciones de la tracción, es el montaje de los neumáticos más apropiados.

Los campos característicos típicos de los neumáticos para automóviles y vehículos industriales similares a ellos son conocidos y publicados [1, 3, 4]. Debido a esto los siguientes datos se refieren a los neumáticos de vehículos industriales del tamaño 11 R 22,5, que se emplean en grandes cantidades en vehículos de serie [2].

Todos los datos en los campos característicos hacen referencia al neumático Michelin XZA tamaño 11 R 22,5



Fuerza lateral y par de retroceso en función del ángulo de convergencia (A)
Parámetro velocidad
20 km/h ≤ v_0 ≤ 100 km/h



Fuerza lateral en función del ángulo de marcha oblicua (C)
Parámetros carga y ángulo de convergencia

Rueda libre rodante a marcha oblicua

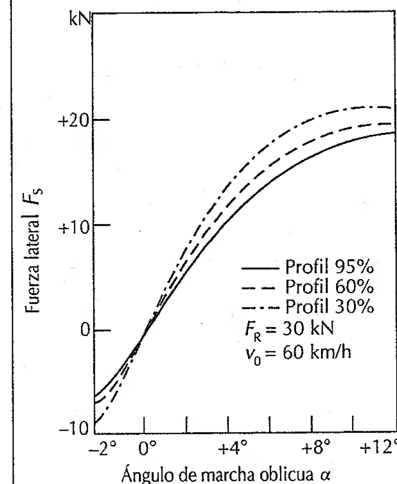
Si una rueda va rodando bajo un ángulo de marcha oblicua se produce una fuerza lateral que depende de la magnitud de la marcha oblicua. Junto con la fuerza lateral aparece simultáneamente un par recuperador (diagrama B). Una forma conocida de representación es el diagrama de Gough [3]. La fuerza lateral en dependencia del ángulo de marcha oblicua aumenta de forma decreciente (diagrama C). Las fuerzas laterales máximas alcanzables disminuyen con el aumento de la velocidad. La influencia de la velocidad aumenta con la carga de la rueda (diagrama A).

Si se sobrepone un ángulo de convergencia sobre una rueda con marcha oblicua, entonces las curvas características de fuerza lateral/ángulo de marcha oblicua de los neumáticos de automóviles o similares de vehículos industriales se desplazan de forma paralela debido a las fuerzas de convergencia. Para neumáticos pesados de vehículos industriales también se producen desplazamientos de las curvas características de fuerza lateral/ángulo de marcha oblicua debido a las fuerzas laterales de convergencia, las cuales se notan sólo con ángulos mayores de marcha oblicua. Así resultan curvas características, que casi todas pasan por el origen de coordenadas (diagrama C).

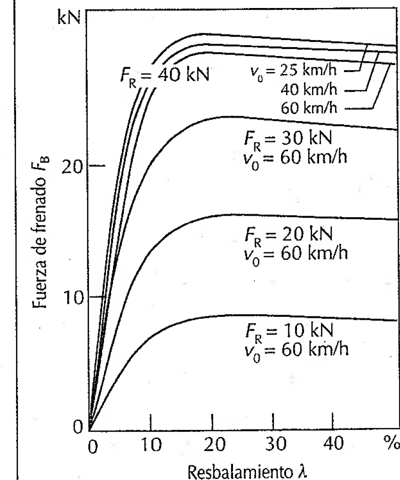
Una profundidad decreciente del perfil del neumático lleva a un desarrollo más inclinado de la curva de característica fuerza lateral/ángulo de marcha oblicua y a un incremento de la fuerza lateral máxima que se puede transmitir (diagrama D).

Rueda rodante en línea recta al accionar y frenar

Referente al parámetro "resbalamiento" la rueda se comporta de forma parecida a con el parámetro "marcha oblicua" (diagrama E). El máximo de la fuerza tangencial (de frenado) generalmente está en el intervalo del 10 al 20% del resbalamiento. El coeficiente de arrastre de fuerza en sentido tangencial decrece de forma no tan significativa, al aumentar la carga de rueda, como lo hace el coeficiente de arrastre de fuerza en dirección lateral. En neumáticos mayores de vehículos industriales, y en el intervalo de velocidades interesantes para los mismos, la influencia de la velocidad sobre el tamaño del arrastre de fuerza en sentido longitudinal no es tan claramente reconocible como lo es en neumáticos similares a los de automóviles (diagrama E).



Fuerza lateral en función del ángulo de marcha oblicua (D)
Parámetro estado del perfil



Fuerza de frenado en función del resbalamiento (E)
Parámetros carga de rueda y velocidad

La influencia de la presión interior del neumático sobre las fuerzas tangenciales máximas capaces de transmitir es despreciable con cargas pequeñas de ruedas. Con carga de rueda creciente el máximo de la fuerza tangencial aumenta claramente al reducirse la presión interior del neumático (diagrama G).

En neumáticos de alto grado de carga la presión interior del neumático tiene un efecto contrario sobre las fuerzas lateral y tangencial (diagramas F, G).

Neumático en marcha oblicua y resbalamiento

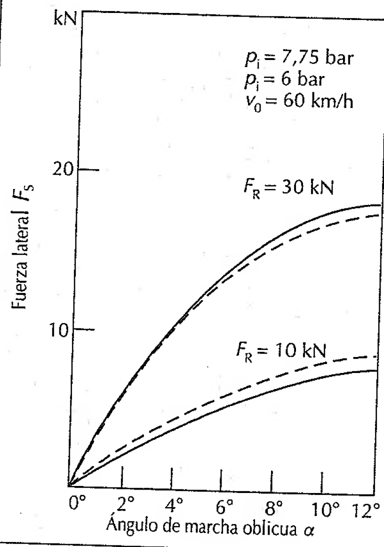
Si a un neumático que está rodando por efecto de una fuerza tangencial o de resbalamiento se le somete además a un ángulo de marcha oblicua, cuanto mayor sea éste menor será la fuerza tangencial útil. Al aumentar el ángulo de marcha oblicua, el máximo de fuerza tangencial se desplaza a valores superiores de resbalamiento (diagrama I).

La curva elíptica característica de fuerza lateral/fuerza de frenado varía con la carga sobre la rueda (diagrama H). Para un valor determinado de esa carga, la curva muestra los límites de la fuerza de arrastre máxima útil para la dinámica de los vehículos con ABS.

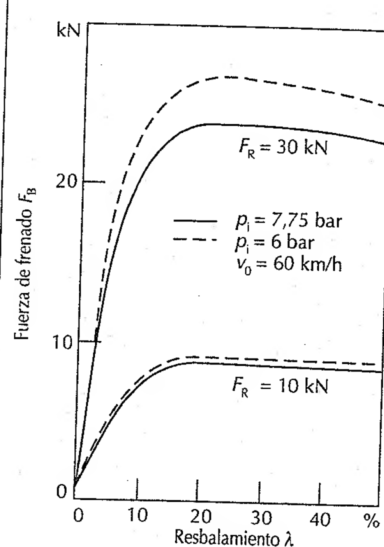
La medición del campo característico de los neumáticos muestra la evolución de la fuerza lateral en el transcurso de la fuerza de frenado en el intervalo interesante de ángulo de marcha oblicua de 0 a 10°, manteniéndose constantes los parámetros de "carga de rueda", "velocidad" y "presión interna de los neumáticos".

Campo dinámico característico de los neumáticos

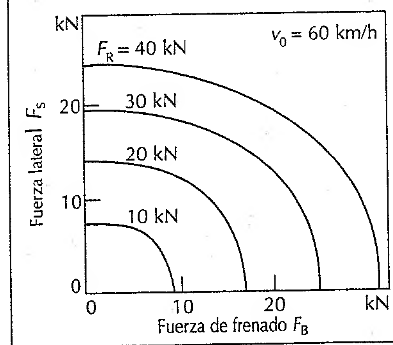
Los campos característicos de neumáticos anteriormente expuestos se basan en parámetros que varían lentamente durante su medición, es decir en condiciones casi estáticas. Durante el funcionamiento de marcha tratamos de procesos dinámicos. Con velocidad creciente de desajuste de los diferentes parámetros influyentes, resultan variaciones en el comportamiento del neumático, según sea la maniobra de conducción, las cuales ya no se pueden despreciar.



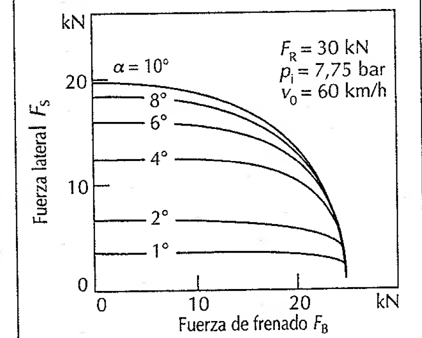
Fuerza lateral en función del ángulo de marcha oblicua en vehículos industriales pesados (F)
Parámetros presión interna del neumático y carga de rueda



Fuerza de frenado en función del resbalamiento en vehículos industriales pesados (G)
Parámetros presión interna del neumático y carga de rueda



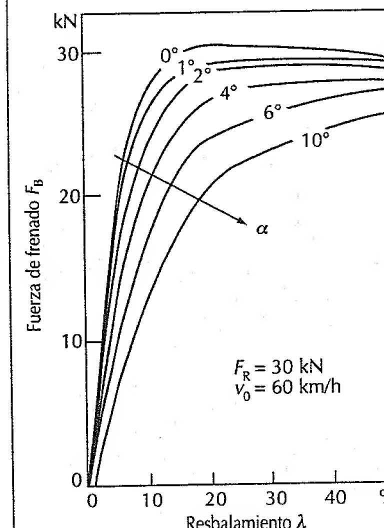
Fuerza lateral en función de la fuerza de frenado (H)
Arrastre de fuerza máximo posible a carga constante de rueda



Campo característico medido de neumático con una carga de rueda de 30 kN (K)
Fuerza lateral en función de la fuerza de frenado, parámetro ángulo de marcha oblicua

Las magnitudes influyentes más importantes son:

- variaciones del ángulo de marcha oblicua,
- variaciones del ángulo de convergencia,
- variaciones del ancho de vía,
- variaciones de la caída,
- variaciones del resbalamiento,
- variaciones en la carga de rueda.



Fuerza de frenado en función del resbalamiento (I)
Parámetro ángulo de marcha oblicua

La respuesta del neumático a estos parámetros de influencia de variación rápida en el tiempo generalmente se representa en los campos característicos en función de la frecuencia. Esto quiere decir que las amplitudes y los ángulos de fases de las fuerzas y de los pares de los neumáticos se representan con referencia a los parámetros excitantes y adicionalmente al desarrollo dependiente de la frecuencia de los valores medios de las fuerzas y pares de los neumáticos [5, 6].

Bibliografía

[1] Gengenbach, W.: Experimentelle Untersuchung von Reifen auf nasser Fahrbahn. ATZ, 1968, Hefte 3, 8 und 9.
[2] von Glasner, E.C.; Einbeziehung von Prüfstandsergebnissen in die Simulation des Fahrverhaltens von Nutzfahrzeugen. Habilitation, Universität Stuttgart, 1987
[3] Gough, V.E.: Cornering Characteristics of Tyres, Automobile Engineer, 1954, Heft. 44.
[4] Weber, R.: Beitrag zum Übertragungsverhalten zwischen Schlupf- und Reifenführungskräften. Al, 1981, Heft 4.
[5] Fritz, G.: Seitenkräfte und Rückstellmomente von Personenwagenreifen bei periodischer Änderung der Spurweite, des Sturz- und Schräglaufwinkels. Dissertation, Universität Karlsruhe, 1978.
[6] Weber, R.: Reifenführungskräfte bei schnellen Änderungen von Schräglauf und Schlupf. Habilitation, Universität Karlsruhe, 1981.

Dirección

La dirección convierte el movimiento de giro que el conductor da al volante, en movimiento de orientación de las ruedas directoras del vehículo.

Exigencias en la instalación de la dirección

Según la normativa europea 70/311/CEE la dirección debe garantizar con facilidad y seguridad la orientación del vehículo. El tiempo máximo y la fuerza máxima de maniobra para una instalación en buen estado y otra con fallos se tienen que desprender de estas normas (Tabla). Se tienen que cumplir con el vehículo, a 10 km/h, al pasar de marcha rectilínea marcha en espiral.

Comportamiento de la dirección

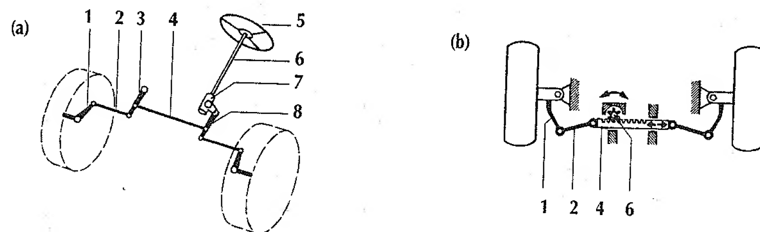
Las exigencias en el comportamiento de la dirección son las que se resumen a continuación:
1. Los golpes de las irregularidades de la calzada deben llegar al volante lo más amortiguados posible. Con el amortiguamiento no debe perder el conductor el contacto con el suelo.
2. El dimensionado fundamental de la cinemática de la dirección debe cumplir las condiciones de Ackermann: la prolongación de los ejes de las ruedas delanteras izquierda y derecha deben cortarse sobre la prolongación del eje de las ruedas traseras.
3. Mediante la rigidez correspondiente del sistema de dirección (especialmente con el empleo de uniones elásticas de goma), el vehículo debe obedecer a la menor corrección de la dirección.

Normas para la fuerza de accionamiento del volante

Clase del vehículo	Instalación en buen estado			Instalación defectuosa		
	Fuerza máx. de accionamiento en daN	Tiempo en s	Radio de giro en m	Fuerza máx. de accionamiento en daN	Tiempo en s	Radio de giro en m
M_1	15	4	12	30	4	20
M_2	15	4	12	30	4	20
M_3	20	4	12	45	6	20
N_1	20	4	12	30	4	20
N_2	25	4	12	40	4	20
N_3	20	4	12[1]	45[2]	6	20

(1) o bien giro total del volante, si este valor no puede ser alcanzado.
(2) 50 daN en vehículos sin articulación, con dos o más ejes articulados, exceptuando ejes articulados de fricción.

Dirección (esquema)
(a) Principio básico, (b) Dirección de cremallera
1 Palanca de dirección, 2 Biela/barra de dirección, 3 Palanca intermedia, 4 Barra/cremallera de dirección, 5 Volante, 6 Columna de dirección, 7 Caja de dirección, 8 Brazo de dirección



4. Las ruedas, al soltar el volante, deben volver por sí solas a su posición central y mantenerse en ella (marcha en línea recta).
5. La dirección debe tener la desmultiplicación mínima posible (número de vueltas del volante de tope a tope), a fin de tener una buena maniobrabilidad. Las fuerzas que están presentes en la dirección no se componen sólo de la desmultiplicación sino también de la carga en el eje delantero, la magnitud del circulo de giro, la suspensión de las ruedas (avance de pivotes, caída de manguitos, radio del circulo de giro del pivote de dirección) y el estado del perfil de los neumáticos.

Comportamiento en marcha

Para la valoración en marcha se emplean a menudo los conceptos "sobrevirado", "subvirado" y "dirección neutra". Con el sobrevirado recorre el vehículo una curva de radio menor que la que corresponde a la posición tope de la dirección y con el subvirado una curva de mayor radio. Este comportamiento propio de la dirección es consecuencia de las diferentes exigencias en la marcha oblicua de las ruedas, que se presentan cuando, al aumentar la fuerza centrífuga, la relación de la fuerza lateral a la carga sobre la rueda se desarrolla en el eje delantero de modo distinto que en el trasero. Normalmente se exige un comportamiento neutro en las curvas, que permite en efecto el mejor aprovechamiento de las fuerzas laterales (es decir, límites de velocidad máximos en las curvas), pero que disminuye la impresión subjetiva del limite de estabilidad del vehículo. Además, es incalculable el desajuste del vehículo, que puede ser el mismo delante que detrás. Por esta razón se esfuerzan la mayoría de los fabricantes de automóviles en que tengan un comportamiento ligeramente de subvirado.

Formas de la caja de la dirección

La caja de la dirección debe tener las siguientes propiedades:
- ningún juego en la posición de marcha en línea recta,
- rozamiento reducido, y con ello un mejor rendimiento,
- elevada rigidez,
- posibilidad de reajuste.

Por estos motivos hoy en día sólo se tienen dos formas constructivas que cumplen las exigencias de los vehículos.

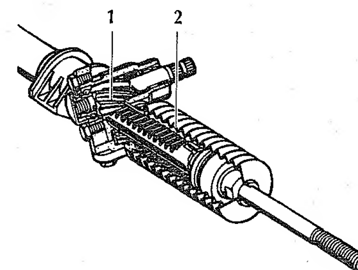
Dirección de cremallera

La dirección de cremallera consta esencialmente de piñón y cremallera. La desmultiplicación viene definida por la relación entre el giro del piñón (igual al giro del volante y el desplazamiento de la cremallera). Mediante el correspondiente dentado de la cremallera se hace variable la desmultiplicación en el desplazamiento. Esta medida reduce la fuerza de accionamiento o disminuye el recorrido de las correcciones de la dirección.

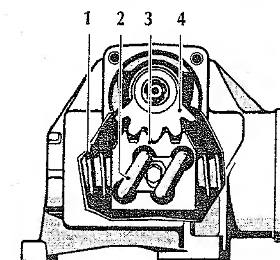
Dirección por tornillo y bolas circulantes

Las fuerzas entre el tornillo sin fin de dirección y la tuerca de dirección se transmiten con escaso rozamiento, por medio de una hilera de bolas circulantes. La tuerca de dirección ataca a través de un segmento dentado al árbol de dirección. En

Dirección de cremallera
1 Piñon, 2 Cremallera dentada



Dirección por bolas circulantes
1 Husillo de dirección, 2 Bolas circulantes, 3 Tuerca de dirección, 4 Árbol de dirección con sector dentado



esta caja de dirección es posible una desmultiplicación variable.

Cinemática de la dirección

La cinemática de la dirección y la forma constructiva del eje deben estar concebidas de modo que en efecto las informaciones sobre arrastre de fuerza (unión cinemática de fuerza) entre las ruedas y la calzada lleguen al conductor, pero sin reacción en el volante de ninguna fuerza del movimiento de amortiguación de las ruedas ni a través de las fuerzas de tracción (en la tracción delantera) (véase página 588).
La caída realiza en el caso de una sacudida una elevación de la parte delantera del vehículo, lo cual lleva a un par de recuperación dependiente de la sacudida.
La convergencia es un ángulo de marcha oblicua ya presente en marcha en línea recta, que da firmeza al varillaje y que al cambiar las ruedas de orientación provoca la rápida aparición de un fuerza transversal.
El avance de los pivotes genera un brazo de palanca para las fuerzas laterales y con ello un par de recuperación dependiente de la velocidad.
El radio del círculo de giro del pivote de dirección determina reacciones a las fuerzas perturbadoras (cuando los frenos tiran de forma desigual, fuerza de tracción en servicio de empuje y tracción en tracción delantera) en el sistema de la dirección. Hoy se procura un radio del círculo de giro del pivote que sea "nulo" a "ligeramente negativo".

Clasificación de las instalaciones de dirección

El Código de la Circulación distingue tres clases de instalación de dirección:
- Instalaciones de dirección de fuerza muscular, en las cuales la fuerza para la dirección la aplica directamente el conductor (véase los mecanismos de dirección mecánicos, en la página anterior).
- Instalaciones de dirección de fuerza externa, en las cuales la fuerza para la dirección se aplica directamente de una fuente de energía presente en el vehículo. (No apropiadas para vehículos veloces).
- Instalaciones de dirección asistida, en las cuales la fuerza para la dirección que se utiliza es la muscular del conductor y la de una fuente de energía auxiliar (utilización en vehículos veloces).

Dirección asistida

Fuente de energía

La fuente de energía consiste en una bomba, accionada generalmente por el motor, un depósito de aceite y las correspondientes tuberías y manguitos.
La bomba, por lo general de paletas con desviación interior, debe estar dimensionada de modo que ya con el motor al ralentí mande un chorro de aceite, con el cual se pueda conseguir con el volante una velocidad de ángulo de giro mínimo de 1,5 radianes/s.
A mayor número de revoluciones del motor una válvula limitadora, integrada en la bomba, impide la mayor presión del caudal de aceite. La válvula limitadora de presión prescrita para el servicio de una instalación hidráulica, está por lo general igualmente integrada en la bomba.
La bomba debe estar dispuesta de modo que la temperatura de trabajo del aceite hidráulico no pueda ascender a valores inadmisibles (> 100 °C), no aparezcan ruidos ni el aceite forme espuma.

Válvula de regulación

La válvula de regulación envía, por el movimiento de giro del volante, la presión correspondiente de aceite al cilindro de la dirección. Un elemento elástico medidor del movimiento de giro (p.ej., barra de torsión, muelle espiral, hoja de ballesta) transforma el momento de giro exactamente y sin juego en el menor recorrido de mando posible. Por este recorrido de mando se desplazan los cantos de dirección, en forma de bisel o faceta, dando lugar así a la sección de abertura para la corriente de aceite. Las válvulas de regulación se suelen construir según el sistema de "abiertas en el centro", es decir, cuando no están actuando, el aceite sin presión enviado por la bomba vuelve al depósito.

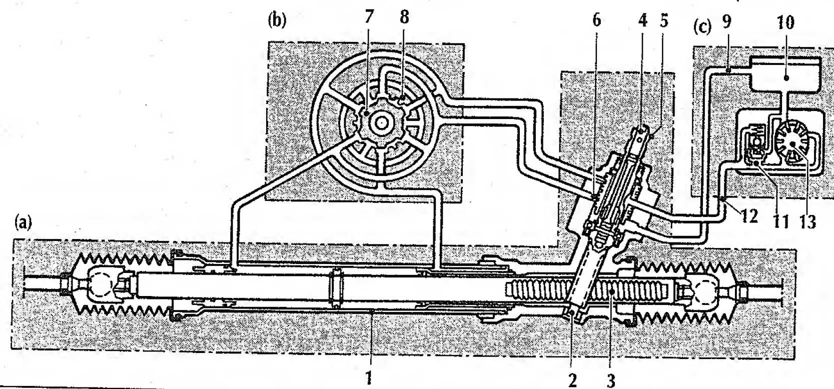
Cilindro de dirección

El cilindro de dirección, de doble efecto, transforma la presión de aceite regulada en fuerza auxiliar que actúa en la cremallera, reforzando la fuerza ejercida por el conductor. Por lo general, el cilindro forma parte de la caja de dirección. Además, ha de tener un rozamiento reducido; de ahí que las exigencias sean grandes para la estanquidad del émbolo y del vástago.

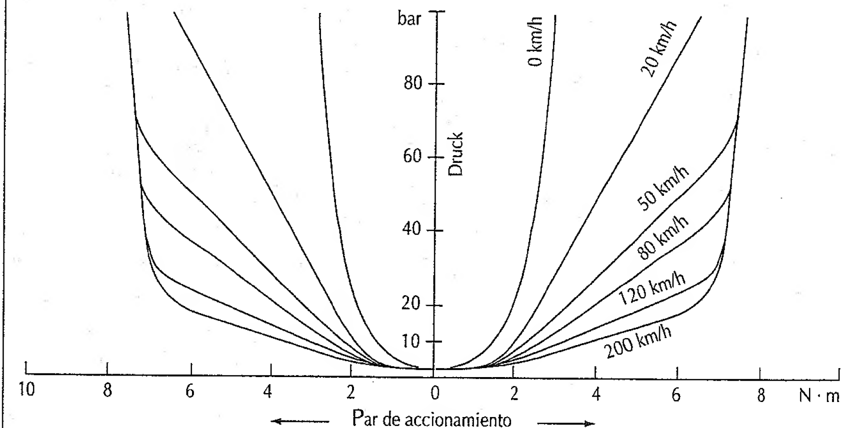
Dirección asistida con aplicación de parámetros

Las mayores exigencias en cuanto a comodidad y seguridad del vehículo llevan a direcciones asistidas que se puedan modular. Un ejemplo de ello es la dirección hidráulica de cremallera con mando electrónico. Trabaja en función de la velocidad, es decir que la velocidad indicada por el tacó-

Dirección hidráulica de cremallera, con distribuidor giratorio
(a) Dirección, (b) Distribuidor (corte ampliado), (c) Alimentación de aceite
1 Cilindro de trabajo, 2 Piñón de accionamiento, 3 Cremallera, 4 Varilla giratoria, 5 Columna inferior de dirección, 6 Canal de mando, 7 Distribuidor giratorio, 8 Caja de mando, 9 Conducto de retroceso, 10 Depósito de aceite, 11 Válvula de delimitación de la presión y de la corriente, 12 Conducción de presión, 13 Bomba de paletas

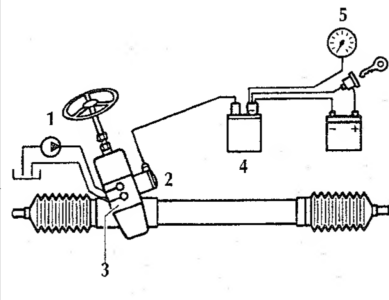


Dirección asistida con aplicación de parámetros *(curvas características)*
El desarrollo de las curvas características se adapta a los datos del vehículo



***Dirección asistida modulable dependiente de la velocidad** (esquema)*

1 Bomba de presión de aceite, 2 Convertidor electrohidráulico, 3 Cuerpo de la válvula de dirección, 4 Dispositivo de mando, 5 Tacómetro electrónico, 6 Batería



metro electrónico regula la fuerza requerida para el accionamiento de la dirección. Un dispositivo de mando evalúa las señales de velocidad y determina la magnitud de efecto hidráulico y con ello la fuerza de accionamiento en el volante. Esta magnitud es transmitida a la válvula de regulación de la dirección mediante un convertidor electrohidráulico que varía el efecto hidráulico con relación a la velocidad. La concepción especial de la característica de la dirección permite usar tan sólo fuerzas mínimas al aparcar o al girar la dirección con el vehículo parado, mientras que al aumentar la velocidad, la fuerza auxiliar se reduce. Esto permite una dirección exacta y fiel a la meta prevista a velocidades altas. Es importante que la presión y el caudal de aceite nunca sean escasos y por lo mismo que rápidamente actúen en situaciones de emergencia. Con estas cualidades se alcanzan una precisión de dirección y una seguridad extremadamente altas, simultáneamente con la mayor comodidad de conducción.

Dirección asistida con dispositivo de transmisión hidráulico puro

En la "dirección hidrostática" no existe ninguna unión mecánica entre el volante y las ruedas. La fuerza para la dirección se amplía hidráulicamente y se transmite también hidráulicamente. En el aparato de mando se encuentra una bomba dosificadora que, según el movimiento de la dirección, envía al cilindro la presión de aceite correspondiente. A causa de las inevitables pérdidas en la bomba dosificadora no queda definida la posición del volante para la marcha en línea recta y por eso el empleo de esta dirección está restringido a máquinas operadoras.

La velocidad máxima admisible en muchos países europeos es de 25 km/h; en Alemania, 50 km/h, pudiéndose elevar a 62 km/h cuando se emplea el sistema de doble circuito.

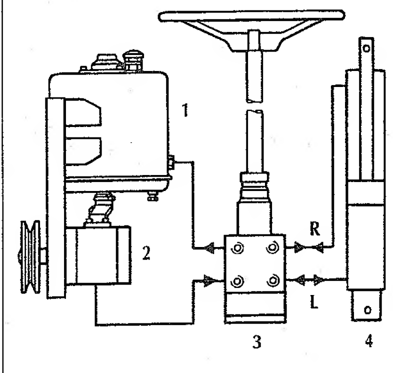
Dirección asistida en versión de doble circuito para vehículos industriales

El tipo de doble circuito es necesario en las direcciones hidrostáticas cuando, en caso de fallo de la fuerza auxiliar, la fuerza de accionamiento del volante es superior a los 600 N.

Estas instalaciones de dirección se caracterizan por la redundancia hidráulica. Ambos circuitos de la instalación de dirección están controlados en su funcionamiento por un indicador de caudal. Las bombas de alimentación de los circuitos de dirección deben ser accionados de forma distinta (p.ej. en dependencia del motor, de la velocidad o eléctricamente). En caso de fallo de motor o de uno de los dos circuitos, el vehículo sigue pudiéndose dirigir con el otro que aún funcione.

Regulación de fuerza auxiliar con dispositivo de transmisión hidráulico puro

1 Depósito de aceite, 2 Bomba de la dirección, 3 Dispositivo de mando con bomba de dosificación, 4 Cilindro de dirección,
Conexiones: L Caudal de aceite para girar a la izquierda, R caudal de aceite para girar a la derecha



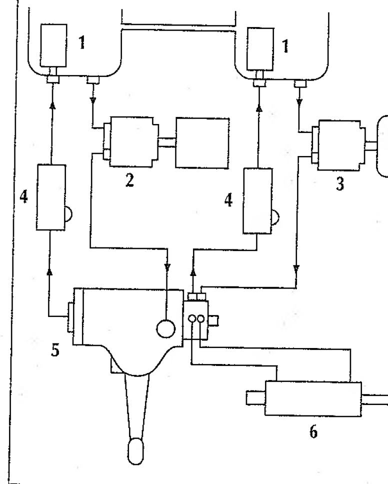
Dirección asistida en versión de circuito simple para vehículos industriales

Los vehículos industriales normalmente están equipados con una dirección hidráulica con tuercas a bolas. En conceptos modernos la válvula de mando está integrada en el husillo de dirección. Esto permite una construcción compacta y óptima en su peso.

Mediante una pequeña modificación de las piezas de la válvula de mando se puede adaptar las modernas direcciones hidráulicas en tuercas a bolas la fuerza de accionamiento con la ayuda de una electrónica de mando ajustada a la velocidad y a otros parámetros (p.ej. aceleración transversal o situación de carga del vehículo).

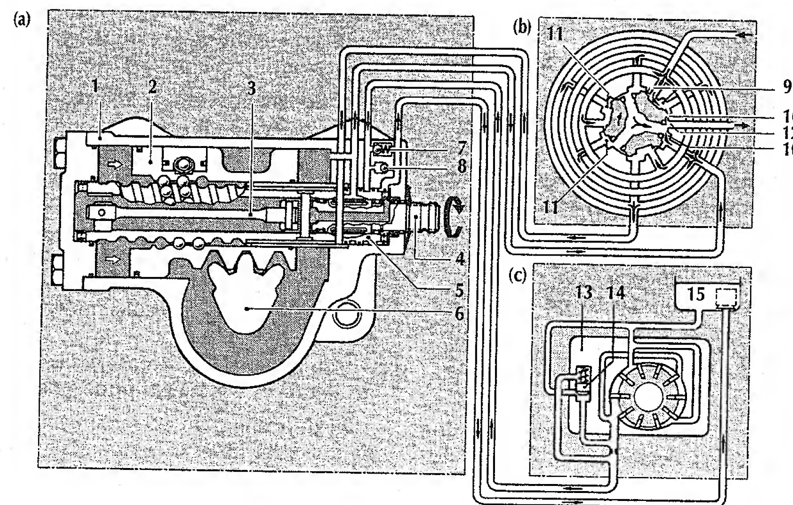
Dirección asistida en versión de doble circuito

1 Depósito de aceite, 2 Bomba accionada por el motor, 3 Bomba accionada por las ruedas, 4 Indicador de caudal, 5 Dirección hidráulica de doble circuito, 6 Cilindro de trabajo



Dirección hidráulica con tuercas a bolas

(a) Dirección, (b) Distribuidor giratorio en sección (ampliado), (c) Alimentación de aceite
1 Cuerpo, 2 Émbolo, 3 Varilla giratoria, 4 Distribuidor giratorio/columna de dirección, 5 Caja de dirección/tornillo sinfín, 6 Árbol del segmento, 7 Válvula de delimitación de presión, 8 Válvula de aspiración, 9 Ranura de admisión, 10 Ranura de retorno, 11 Ranura axial, 12 Ranura de retorno, 13 Bomba de paletas, 14 Válvula de delimitación de corriente, 15 Depósito de aceite



Sistemas de frenos

Conceptos, fundamentos

(ISO 611)

Equipo de frenos
Conjunto de todas las instalaciones de frenos para reducir la velocidad de un vehículo, detenerlo o mantenerlo en reposo.

Instalaciones de frenos

Instalación del freno de servicio
Facilita al conductor, de forma gradual, reducir la velocidad del vehículo durante su funcionamiento normal o detenerlo.

Instalación de freno auxiliar
Facilita al conductor, de forma gradual, reducir la velocidad del vehículo en caso de fallo en la instalación de servicio o detenerlo.

Instalación de freno de estacionamiento
Permite que un vehículo se mantenga en reposo por medios mecánicos, incluso en una calzada en pendiente y, sobre todo, sin la presencia del conductor.

Instalación para el frenado de larga duración
Conjunto de componentes que facilitan al conductor de forma directa o indirecta, mantener constante la velocidad del vehículo o reducirla, especialmente en pendiente largas.

Instalación de freno automático
Conjunto de piezas, que ante la separación voluntaria o accidental del remolque de un camión remolque, frena automáticamente a este último.

Sistema de antibloqueo (ABS)
Conjunto de componentes de una instalación de freno de servicio, que regula automáticamente el resbalamiento de las ruedas (o de una rueda) en sentido de giro durante el frenado. La regulación de la fuerza de frenado directamente de una rueda se efectúa con la ayuda de los datos del sensor propio, mientras que en una rueda regulada indirectamente se usan sensores de otra u otras ruedas. Un ABS con regulación "select high" posee ruedas reguladas directa e indirectamente; en un ABS con regulación "select low" todas las ruedas con sensor se cuentan como reguladas directamente.

Componentes

Instalación de suministro de energía
Son las partes de una instalación de frenos que proporcionan la energía necesaria, la regulan y eventualmente la preparan. Termina donde comienza el dispositivo de transmisión, es decir, donde empiezan los distintos circuitos de la instalación de frenos comprendiendo, dado el caso, los circuitos consumidores secundarios existentes, ya sea para abastecimiento de energía allí o mutuamente.
La fuente de energía puede estar fuera del vehículo (por ejemplo en la instalación de frenos por aire comprimido de un remolque, pero también puede ser por la fuerza muscular de una persona.

Dispositivo de accionamiento
Son las partes de una instalación de frenos, cuya misión es ponerla en funcionamiento y regular su efecto. La señal de mando puede ser transmitida dentro del dispositivo de accionamiento por medios mecánicos, neumáticos, hidráulicos o eléctricos, para lo cual se puede utilizar energía externa o auxiliar.

El dispositivo de accionamiento puede ser actuado:

- directamente con el pie o con la mano,
- por acción indirecta del conductor del vehículo o sin ninguna intervención (sólo para los vehículos con remolques),
- por variación de la presión o la corriente eléctrica de una conducción de unión entre el vehículo motor y el vehículo remolque al accionar una de las instalaciones de freno del vehículo motor o en el caso de avería,
- por la inercia de la masa del vehículo o de alguna de sus piezas principales.

El dispositivo de accionamiento termina donde se distribuye la energía necesaria para el frenado o donde se desvía una parte de la energía para la regulación de la energía de frenado.

Dispositivo de transmisión
Son las partes de una instalación de frenos, por medio de los cuales se transmite la energía regulada por el dispositivo de accionamiento. De un lado comienza donde termina el dispositivo de accionamiento y por otro donde termina el dispositivo de suministro de energía. Termina en las partes de la instalación de frenos en las cuales el movimiento o la tendencia del vehículo al movimiento se contrarresta por las fuerzas que se generan. Este dispositivo puede ser mecánico, hidroneumático (a presión o vacío), eléctrico o combinado (por ejemplo, hidromecánico o hidroneumático).

Frenos
Son las partes de la instalación, en las cuales se producen las fuerzas que se oponen al movimiento o tendencia al del vehículo al movimiento.

Dispositivos adicionales en el vehículo tractor de un vehículo remolque
Son las partes de una instalación de frenado de un vehículo tractor destinadas al suministro de energía y a la regulación de la instalación de frenos del vehículo remolque. Se compone de las partes entre el dispositivo de suministro de energía del vehículo tractor y el cabezal de acoplamiento de la conexión al circuito de reserva (inclusive), y de las piezas entre el dispositivo o dispositivos de transmisión del vehículo tractor y el cabezal de acoplamiento de la conducción del freno (inclusive).

Tipos de instalaciones de frenos referentes a la instalación de suministro de energía

Instalación de frenos con fuerza muscular
Instalación en la cual la energía necesaria para producir la fuerza de frenado procede exclusivamente de la fuerza física del conductor del vehículo.

Instalación de frenos con fuerza auxiliar
Instalación en la cual la generación de la energía necesaria para producir la fuerza de frenado procede de la fuerza física del conductor y de uno o varios dispositivos de suministro de energía.

Instalación de frenos con fuerza externa
Instalación en la cual la energía necesaria para producir la fuerza de frenado procede de uno o varios dispositivos de suministro de energía, con excepción de la fuerza física del conductor.

Observación: Una instalación de frenos, en la que en caso de fallo total de la energía, el conductor pueda producir en la misma instalación la fuerza de frenado por medio de su fuerza muscular, no entra en esta definición.

Instalación de frenos automática de remolques
Son aquellas en las que la energía necesaria para producir la fuerza de frenado se produce al acercarse el vehículo remolque al vehículo tractor. (Generación de fuerza por la energía cinética del acercamiento.)

Instalación de freno por gravedad
Instalación en la cual la energía necesaria para producir la fuerza de frenado procede de la fuerza de gravedad del descenso o caída de una pieza del remolque.

Tipos de instalaciones de frenos según la estructura del dispositivo de transmisión

Instalación de frenos de circuito único
Instalación de frenos que tiene un dispositivo de transmisión de un solo circuito. Si en el dispositivo de transmisión de un solo circuito se produce una avería en el mismo, ya no se puede transmitir la energía para producir la fuerza de frenado.

Instalación de frenos de circuitos múltiples
Son instalaciones con un dispositivo de transmisión que tiene varios circuitos. Si en el dispositivo de transmisión de circuitos múltiples se produce una avería en uno de los circuitos, aún puede transmitirse total o parcialmente la energía para producir la fuerza de frenado.

Tipos de instalaciones de frenos en vehículos combinados

Instalaciones de frenos de una sola conducción
Disposición en la cual las instalaciones de freno de ambos vehículos están unidas entre sí de tal forma que se utiliza alternativamente una sola conducción para el suministro de energía o para el accionamiento de la instalación de frenos del vehículo remolque.

Instalaciones de frenos de dos o más conducciones
Disposición en la cual las instalaciones de frenos de ambos vehículos están unidas entre sí de tal forma que el suministro de energía y el accionamiento de la instalación de frenos del vehículo remolque están separados en varias conducciones que actúan simultáneamente.

Instalación de frenos directa
Combinación de la instalación de frenos del vehículo tractor de un remolque, con las siguientes características:
– El conductor del vehículo, desde su asiento y en un solo proceso, puede accionar el dispositivo de accionamiento del vehículo tractor directamente, y el dispositivo de accionamiento del remolque de forma indirecta y graduable;
– La energía necesaria para el frenado de los dos vehículos (tractor y remolque) la proporciona la misma fuente (que puede ser la fuerza muscular del conductor).
– Frenado simultáneo o con un retraso en el tiempo adecuado, de los dos vehículos (tractor y remolque).

Instalación de frenos parcialmente directa
Combinación de las instalaciones de freno del vehículo tractor de un remolque con las siguientes características:
– El conductor del vehículo puede accionar directamente desde su asiento, en un solo proceso, el dispositivo de accionamiento del vehículo motor e indirectamente el del vehículo remolque de forma progresiva.
– La energía necesaria para el frenado de ambos vehículos la proporcionan por lo menos dos fuentes diferentes (una de las cuales puede ser la fuerza muscular del conductor).
– Frenado simultáneo de ambos vehículos o con un retraso en el tiempo adecuado del remolque.

Instalación de frenos no directa
Combinación de la instalación de frenos de un vehículo articulado que no es directa ni del todo ni en parte.

Conductos en instalaciones de frenos

Cables eléctricos: conductos para la transmisión de energía eléctrica.
Tubería: tubo rígido, semirrígido o flexible para la transmisión de energía hidráulica o neumática.

Tuberías para la conexión de instalaciones de frenos de un tren remolque

Tubería de la reserva: Es una tubería especial de suministro a través de la cual la energía del vehículo tractor va a parar al acumulador de energía del vehículo arrastrado.
Tubería de los frenos: Tubería de mando especial, a través de la cual la energía necesaria para la regulación pasa del vehículo tractor al arrastrado.
Tubería común de la reserva y de frenos: Tubería que sirve simultáneamente de tubería de frenos y de la reserva (instalación de frenos de tubería única).
Tubería de los frenos auxiliares: Una tubería especial de trabajo que va del vehículo tractor al vehículo remolque por la que pasa la energía necesaria para los frenos auxiliares del remolque.

Proceso de frenado

Procesos que tienen lugar entre el inicio de trabajo del dispositivo de accionamiento y el final del frenado.

Frenado graduable
Frenado en el que dentro del campo de trabajo normal del dispositivo de accionamiento, el conductor del vehículo puede en cualquier instante aumentar o reducir con precisión suficiente la fuerza de frenado, actuando sobre aquél. Cuando se consigue una elevación de la fuerza de frenado, aumentando el efecto del dispositivo de accionamiento, la inversión del efecto debe obligatoriamente producir la reducción de esa fuerza de frenado.

Histéresis de la instalación de frenos: Diferencia entre las fuerzas de accionamiento al apretar y soltar el freno a igualdad de par de frenado.
Histéresis de los frenos: Diferencia de las fuerzas de aprieto al apretar y soltar a igualdad de par de frenado.

Fuerzas y pares

Fuerza de accionamiento F_c: Fuerza que se ejerce sobre el dispositivo de accionamiento.
Fuerza de aprieto F_s: Fuerza total, que a causa del rozamiento existente, realizan los frenos sobre la guarnición en los frenos de fricción.
Par de frenado: Producto de las fuerzas de rozamiento provocadas por la fuerza de aprieto, multiplicadas por la distancia entre los puntos de ataque de esas fuerzas y el eje de rotación.
Fuerza total de frenado F_f: Suma de las fuerzas de frenado que actúan sobre las superficies de contacto de todas las ruedas, originadas por la acción de la instalación de frenos y que se oponen al movimiento o tendencia al movimiento del vehículo.
Distribución de la fuerza de frenado: indicación de la fuerza de frenado de cada eje en % de la fuerza total de frenado Ft, p.ej. 60% eje delantero, 40% eje trasero.
Valor característico del freno C^*: Relación entre la fuerza tangencial total y la fuerza de aprieto de un freno:

$$C^* = F_u/F_s$$

siendo F_u fuerza tangencial total y F_s fuerza de aprieto. Si en una zapata particular actúan distintas fuerzas de aprieto (siendo i el número de ellas), el valor medio de la fuerza de aprieto es

$$F_s = \Sigma\, F_{si}/i$$

Tiempos (ver diagrama)

Tiempo de reacción
Tiempo que transcurre desde la decisión de la aplicación hasta el comienzo del accionamiento del dispositivo de accionamiento (t_0).

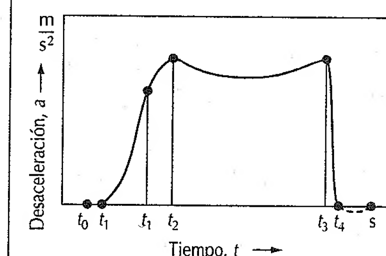
Duración del movimiento del dispositivo de accionamiento:
Tiempo que transcurre desde el inicio del movimiento de la parte del dispositivo de accionamiento (t_0), sobre la que actúa la fuerza aplicada, hasta su posición final según sea la fuerza o la carrera del accionamiento. (Esto también vale para soltar el freno.)

Tiempo de respuesta $t_1 - t_0$:
Tiempo que transcurre desde el inicio del movimiento de la parte del dispositivo de accionamiento, en que actúa la fuerza aplicada, hasta que empieza a actuar la fuerza de frenado.

Tiempo umbral $t_{1'} - t_1$:
Tiempo que transcurre desde que empieza a actuar la fuerza de frenado, hasta alcanzarse un cierto valor (75 % del valor asintótico de la presión en el cilindro de la rueda, según 71/320 CEE Anexo III/ 2.4).

Tiempo de respuesta y tiempo umbral:
La suma del tiempo de respuesta y del tiempo umbral sirve para enjuiciar el comportamiento de la instalación de frenado respecto al tiempo, hasta que se consigue la plena acción de frenado.

Tiempos y desaceleración durante un frenado hasta la parada del vehículo



anterior a t_0: *Tiempo de reacción*
t_0: *Comienzo de la aplicación de fuerza sobre le instalación de accionamiento*
t_1: *Comienzo de la desaceleración*
$t_{1'}$: *Final del tiempo umbral*
t_2: *Desaceleración plenamente formada*
t_3: *Final de la desaceleración plena*
t_4: *Final del frenado (vehículo parado)*
$t_1 - t_0$: *Tiempo de respuesta*
$t_{1'} - t_1$: *Tiempo umbral*
$t_3 - t_2$: *Intervalo "desaceleración plena promedio"*
$t_4 - t_1$: *Tiempo de efecto de los frenos*
$t_4 - t_0$: *Tiempo de frenado*

Tiempo de frenado activo $t_4 - t_1$:
Tiempo que transcurre desde que empieza a actuar la fuerza de frenado, hasta su desaparición. Si el vehículo llega a detenerse con los frenos todavía accionados, el instante en que se detiene determina entonces el final del tiempo de actuación de los frenos.

Tiempo de suelta del freno:
Tiempo que transcurre desde el inicio del movimiento del dispositivo de accionamiento, para soltar el freno, hasta la desaparición de la fuerza de frenado.

Tiempo de frenado total $t_4 - t_0$:
Tiempo que transcurre desde el inicio del movimiento de la parte del dispositivo de accionamiento en que actúa la fuerza aplicada, hasta la desaparición de la fuerza de frenado. Si el vehículo llega a detenerse, actuando todavía el freno, el momento en que se detiene determina entonces el final del tiempo de frenado (Ver el diagrama de la página 615).

Trayecto de frenado s:
Camino que recorre un vehículo durante el tiempo de frenado total. Cuando el instante de la detención del vehículo determina el final del tiempo total de frenado, el camino recorrido hasta entonces se llama "Trayecto de frenado hasta el reposo".

Trabajo de frenado W:
Integral del producto de la fuerza de frenado instantánea F_t y del elemento de trayecto de frenado d_s a lo largo del trayecto de frenado s.

$$W = \int_0^s F_f \cdot d_s$$

Potencia de frenado instantánea P:
Producto de la fuerza total de frenado instantánea F_t por la velocidad v del vehículo.

$$P = F_f \cdot v$$

Desaceleración de frenado:
Disminución de la velocidad de marcha provocada por la instalación de frenos, por unidad de tiempo t. Se distingue entre:

Desaceleración instantánea: $a = dv/d\,t$

Desaceleración media: $a_{ms} = v_0^2 / (2 \cdot s_0)$

Valor medio de la desaceleración durante el trayecto de frenado, donde v_0 y s_0 se refieren al instante t_0:

Desaceleración media a_{mt} durante un período de tiempo:
Deceleración entre dos instantes t_i y t_j del movimiento retardado. Se puede utilizar esta fórmula para determinar la acción de los frenos en las instalaciones de frenado continuo.

$$a_{mt} = (v_i - v_j)/(t_j - t_i)$$

Desaceleración completa media a_{mf}:
Valor medio (a_{mf}) de la desaceleración en un intervalo $t_3 - t_2$ de desaceleración completamente desarrollada:

$$a_{mt} = \frac{1}{t_3 - t_2} \cdot \int_{t_2}^{t_3} (a \cdot dt)$$

Relación de frenado z:
Relación entre la fuerza total de frenado F_t, y la fuerza del peso total estático G_s que descansa en el eje o los ejes del vehículo.

$$z = F_t/G_s$$

Prescripciones legales

Para la concesión del permiso de circulación de un vehículo, la prueba del equipo de frenos se puede realizar, en Alemania Federal, a elección del fabricante, según

– Las normas nacionales § 41 StVZO (Reglamento de autorización de tráfico) y sus disposiciones para las pruebas de los frenos.
– Las normas de la Comunidad Económica Europea CE-71 /320/CEE y las normas de adaptación y sus anexos.
– La normativa ECE 13 y 78 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas de Ginebra.

Las especificaciones § 41b StVZO referentes al empleo de sistemas de antibloqueo (ABS) son más estrictas que las de la Comunidad Europea. La normativa de la CEE 13 y las normas CE coinciden con pocas excepciones.

Equipo de frenos según § 41 StVZO, la normativa de la CEE, y las normas ECE 13 y 78 (Clasificación de los vehículos, pág. 679)

Vehículos de la clase L (menos de cuatro ruedas)
Las motos y los triciclos deben estar provistos de dos frenos independientes uno del otro. En los vehículos pesados de la clase L ambos frenos deben actuar conjuntamente en todas las ruedas y además tiene que haber freno de estacionamiento.

Vehículos de las clases M y N
Deben cumplir las condiciones vigentes para los frenos de servicio, los frenos auxiliares y los frenos de estacionamiento. Las tres instalaciones pueden tener piezas en común. Deben existir como mínimo dos dispositivos independientes de accionamiento.

Es obligatoria la distribución de la fuerza de los frenos en cada eje. Los vehículos de las clases M_2 y N_2 deben llevar también instalaciones de antibloqueo de frenos (ABS) (incorporación obligatoria progresiva, ver tabla).

Para el cumplimiento de las condiciones en tramos de descenso largos deben llevar además instalaciones de frenado de larga duración. Los autocares de la clase M_3 de más de 10 t, de tráfico interurbano o de largo recorrido, deben cumplir las condiciones de la circulación de este tipo de "descensos" accionando exclusivamente la instalación de frenado continuo o de larga duración.

Remolques de la clase O
Los remolques de la clase O_1 no precisan de ninguna instalación de frenos. Los remolques a partir de la clase O_2 deben ir equipados con instalación de frenos de servicio y de estacionamiento, que pueden tener piezas en común. La instalación de frenos de estacionamiento debe poder ser accionada por una persona desde fuera del vehículo. Es obligatoria la distribución de la fuerza de frenado en cada eje.

Determinados vehículos con remolque de la clase O_3 deben equiparse con sistema de antibloqueo (ABS).

Las instalaciones de freno automático de remolque se permiten hasta los de la clase O_2.

Si se rompe el dispositivo de enganche durante el viaje, el remolque debe frenarse automáticamente o bien tener (en remolques <1,5t) una unión de seguridad hacia el vehículo tractor.

Vehículos con ABS
Los sistemas de ABS deben cumplir el anexo X de la normativa de la CE 71/320/CEE o el anexo 13 de la normativa ECE 13 (para vehículos de las clases M_2, M_3, N_2 y N_3 de la categoría 1). Las principales exigencias son:

– debe evitarse el bloqueo de las ruedas sobre cualquier tipo de calzada a una velocidad superior a los 15 km/h.
– se deben aprovechar la estabilidad en la marcha, la capacidad de conducción y
– el arrastre de fuerza en calzadas con el mismo arrastre de fuerza y (en la categoría 1) diferente arrastre de fuerza en los dos lados (μ-split) y
– debe poderse utilizar como señal óptica de alarma que indique todos los fallos eléctricos.

Para vehículos de remolque sólo se han establecido exigencias mínimas para ABS. Por motivos de seguridad y para desgastar menos los neumáticos, los sistemas de antibloqueo del vehículo tractor y del remolque deberían coordinarse entre sí.

Vehículos motor y vehículos remolque con instalación de frenos de aire comprimido

Los acoplamientos del aire comprimido deben realizarse con el tipo constructivo de dos o varias tuberías. Al accionar la instalación de freno de servicio o la auxiliar del vehículo motor, los frenos de servicio del vehículo remolque deben actuar de forma gradual. En el caso de cualquier fallo de la instalación de freno de servicio del vehículo tractor, la parte no afectada por el fallo debe poder frenar al remolque de forma progresiva. En el caso de una interrupción o fugas en una de las conducciones de conexión entre el vehículo tractor y el remolque, el remolque debe poder ser frenado o frenarse automáticamente.

Es obligatorio que la acción de los frenos del vehículo con carga (sin ABS también con el vehículo descargado) dependa de la presión en el cabezal de acoplamiento de la tubería de conducción del freno. La instalación de frenos de servicio del remolque sólo debe poderse activar conjuntamente con el freno de servicio, auxiliar o de estacionamiento del vehículo tractor.

Exigencias según la StVZO, la directiva CE 71/320 CEE y la normativa ECE 13

Clase de vehículo (clasificación pág. 679)		Turismos y KOM M_1	M_2	M_3	Vehículos industriales N_1	N_2	N_3	Vehículos con remolque O_1	O_2	O_3	O_4
Instalación freno de servicio		Actuando sobre todas las ruedas, obligatoria la distribución en todos los ejes						instalación pequeña o como O_2	Inst.frenos retención o como O_3		
ABS según StVZO (v_{max}>60km/h)		–	+	+	–	+	+	–	–	+	+
ABS según dir.CE o ECE[1] (v_{max}=25km/h)		–	+[2]	+[3]	–	+[4]	+[5]	–	–	+[6]	+
Tipo ensayo O (desembragado)											
Velocidad de ensayo	km/h	80	60	60	80	60	60	–	60	60	60
Trayecto de frenado	≤m	50,7	36,7	36,7	61,2	36,7	36,7		z≥0,50 Trailer z ≥0,45		
Fórmula trayecto de frenado		$0{,}1\,v+\frac{v^2}{150}$	$0{,}15\,v+\frac{v^2}{130}$								
Desaceleración total media	≤m/s²	5,8	5,0								
Fuerza de accionamiento	≤N	500	700						a ≤ 6,5 bar		
Tipo de ensayo O (embragado)		Comportamiento del vehículo al frenar desde 30%-80% v_{max} y frenado activo									
Velocidad de ensayo v =80% v_{max}, pero	≤km/h	160	100	90	120	100	90	–	–	–	–
Trayecto de frenado	≤m	212,9	111,6	91,8	157,1	111,6	91,8				
Fórmula de trayecto de frenado		$0{,}1\,v+\frac{v^2}{130}$	$15\,v+\frac{v^2}{103,5}$								
Desaceleración total media	≥m/s²	5,0	4,0								
Fuerza de accionamiento	≤N	500	700								
Tipo de ensayo I		Frenados repetidos, con 3 m/s², con carga y embragado						–	Frenado continuo, con carga 40 km/h 7% pendiente 1,7 km		
v_1= 80% v_{max}, pero	≤km/h	120	100	60	120	60	60	–			
v_2=1/2 v_1	n										
Número de ciclos de frenado	s	15	15	20	15	20	20				
Duración del ciclo de frenado		45	55	60	55	60	60				
Frenado activo en caliente al final del tipo de ensayo I		≤80% del frenado activo prescrito para el ensayo tipo O (desembragado) y ≥60% del frenado activo obtenido en el tipo de ensayo O (desembragado)							z≤0,36 y z≤60% del valor medido 40 km/h en el tipo de ensayo O		
Tipo de ensayo II en largos trayectos de pendiente		Energía equivalente a 30 km/h, 6% de desnivel y 6 km, con carga, motor embragado, freno contínuo activado									
Ensayo de frenado activo en caliente al final del tipo de ensayo II		Medición como tipo de ensayo O (desembragado)									a 40 km/h
Fórmula del trayecto de frenado		$M_3{:}0{,}15\,v+\frac{1{,}33\,v^2}{130}$ $N_3{:}0{,}15\,v+\frac{1{,}33\,v^2}{115}$						–	–	–	
Trayecto de frenado	≤m			45,8			50,6				
Desaceleración total media	≥m/s²	–	–	3,75	–	–	3,3				z≥0,33

[1] Fecha en [2] hasta [6] correspondiente a nuevos permisos de circulación. Los permisos de circulación antiguos pierden su validez dos años después. [2] A partir del 1.4.1998. [3] Antes del 1.4.1998 solo KOM > 12t para tráfico interurbano y de largo recorrido. [4] >7,5t a partir del 1.4.1998, = 7,5t a partir del 1.4.1999.

Clase de vehículo (clasificación pág. 679)		Turismos y KOM M_1	M_2	M_3	Vehículos industriales N_1	N_2	N_3	Vehículos con remolque O_1	O_2	O_3	O_4
Tipo de ensayo IIa para instalaciones de frenos continuos		Energía correspondiente a 30 km/h, 7% de pendiente, 6 km, con carga, activado sólo el freno continuo. Sólo en M_3 (exceptuando autobuses urbanos)[7]									
Frenado activo residual después de fallar la instalación de transmisión/fallo del circuito, motor desembragado								Los frenos del remolque deben poderse activar plena o parcialmente con efecto escalonado			
Velocidad de ensayo	km/h	80	60	60	70	50	40				
Trayecto de frenado con carga	≤ m	150,2	101,3	101,3	152,5	80,0	52,4				
Trayecto de frenado, sin carga	≤ m	178,7	119,8	101,3	180,9	94,5	52,4				
Desaceleración total media, con carga	≥ m/s²	1,7	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3				
sin carga	≥ m/s²	1,5	1,3	1,5	1,1	1,1	1,3				
Fuerza de accionamiento	≤ N	700	700	700	700	700	700				
Instalación freno auxiliar (Prueba como ensayo tipo O desembragado)								Los frenos del remolque deben de poderse activar con efecto progresivo			
Velocidad de ensayo	km/h	80	60	60	70	50	40				
Trayecto de frenado	≤ m	93,3	64,4	64,4	95,7	54,0	38,3				
Fórmula del trayecto de frenado		$0{,}1\,v+\frac{2\,v^2}{150}$	$0{,}15\,v+\frac{2\,v^2}{130}$		$0{,}15\,v+\frac{2\,v^2}{115}$						
Desaceleración total media	≥ m/s²	2,9	2,5		2,2						
Fuerza de accionamiento a mano	≤ N	400	600		600						
con el pie	≤ N	500	700		700						
Freno de estacionamiento (ensayo con carga)											
Efecto de sujeción en subida o pendiente	≥ %	18			18			–	18		
juntamente con vehículo no frenado de clase O	≥ %	12			12			–	–		
Fuerza de accionamiento, a mano,	≤ N	400	600		600			–			
con el pie	≤ N	500	700		700			–			
Tipo de ensayo O[8] (desembragado, con carga)											
Velocidad de ensayo	km/h	80	60	60	70	50	40	–			
Desaceleración total media y desaceleración antes del reposo	≥ m/s²	1,5			1,5			–			
Instalación de freno automática Frenado en vehículos con remolque con instalaciones de freno de aire comprimido con pérdida de presión en el conducto de reserva											
Velocidad de ensayo	km/h							–	40		
Frenado	≥ %							–	13,5		

[5] Antes del 1.10.1996 sólo N_3 ≥ 16t, autorizados a remolcar remolques de la clase O_4, [6] > 5t desde el 1.4.1998, ≤ 5t a partir del 1.4.1999, [7] Solo >10t para permiso de circulación de tipo anterior al 1.10.1996, [8] Con instalación de freno de estacionamiento o dispositivo auxiliar de la instalación de freno de servicio.

Clasificación y estructuras de las instalaciones de freno

Componentes básicos de una instalación de frenos

Una instalación de frenos consta de:
- Dispositivo de suministro de energía
- Dispositivo de accionamiento
- Dispositivo de transmisión para la regulación de la fuerza de frenado y activado de la instalación de freno de motor y de estacionamiento así como también del retardador,
- Dispositivos adicionales en el vehículo tractor para el frenado del remolque.
- Frenos de las ruedas,

Cada uno de estos componentes coopera en la dosificación de las fuerzas determinantes del frenado del vehículo/tren.

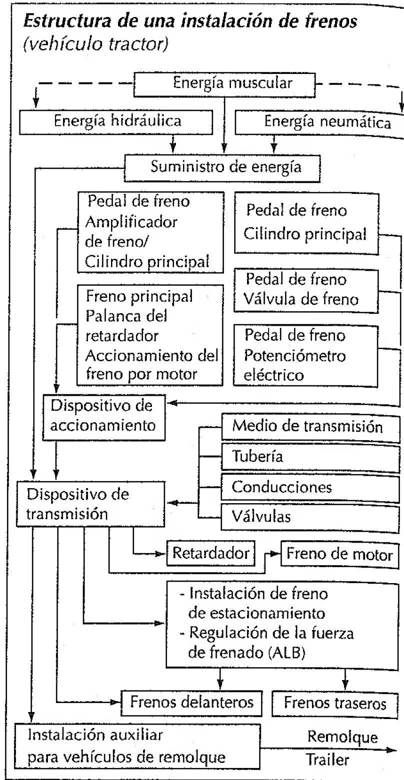
Puesto que para diferentes cometidos y tipos de vehículos las exigencias son distintas, se han desarrollado instalaciones de frenado que difieren unas de otras. Se diferencian por el fin a que van destinadas y por la clase y forma de los componentes básicos.

Finalidad de utilización de una instalación de frenos

Según las normas sobre frenos el equipamiento de los frenos de vehículos industriales ha de contar con:
- Instalación de frenos de servicio
- Instalación de frenos auxiliares
- Instalación de freno de estacionamiento
- instalación de freno continuo
- Instalación de freno automático

Las instalaciones de freno de servicio y de estacionamiento poseen dispositivos separados de accionamiento y de transmisión. El accionamiento del freno de servicio normalmente se efectúa con el pie y el del freno de estacionamiento con la mano o con el pie. La instalación de freno auxiliar a menudo comparte también las instalaciones del freno de servicio o del freno de estacionamiento. Así, p.ej., en un circuito de freno de servicio de doble circuito uno de ellos se encarga de la función del freno auxiliar. La instalación de freno continuo sirve como un dispositivo de freno adicional sin desgaste, descargando al freno de servicio especialmente en frenados cuesta abajo (ver "Instalación de freno continuo" en pág. 648). La instalación de freno automático sólo es relevante en funcionamiento con remolque.

Estructura de una instalación de frenos *(vehículo tractor)*



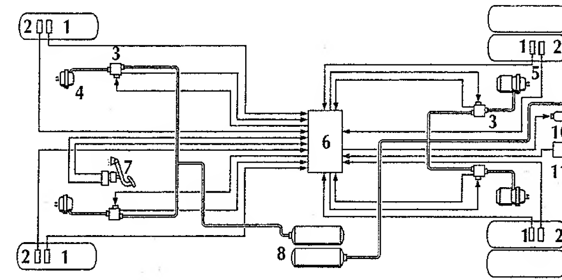
Tipo de energía y medios empleados

Según el tipo de energía utilizada se diferencia entre:
- Instalación de frenos con fuerza muscular
- Instalación de frenos con fuerza auxiliar
- Instalación de frenos con fuerza externa
- Instalación de frenos automáticos de retención

Estas instalaciones de frenos también pueden ser de forma combinada. Al contrario que en una instalación de freno de fuerza externa, la fuerza de trabajo de una instalación de freno (auxiliar p.ej.) contiene en forma proporcional una parte de la fuerza del pedal.

Aparte del tipo de energía, también los medios energéticos empleados sirven de elemento para diferenciarlas. Principalmente se utiliza la energía neumática (vacío, aire comprimido) y la hidráulica; a veces también la eléctrica.

Sistema de frenos electrónico-neumático para vehículo de tracción de dos ejes
1 Sensor del número de revoluciones, 2 Sensor del desgaste de la guarnición de freno, 3 Válvula de regulación, 4 Cilindro de freno rueda delantera, 5 Cilindro de freno rueda trasera, 6 Dispositivo de mando, 7 Pedal de freno, 8 Depósito de aire comprimido, 9 Suministro de aire comprimido remolque, 10 Conducción de mando del remolque, 11 Sensor de la fuerza de acoplamiento



Tipo de instalación de transmisión

La transmisión de la fuerza en la instalación de frenos se efectúa de forma mecánica, hidráulica, neumática y eléctrica/electrónica. En la transmisión de la fuerza a los frenos de las ruedas también puede haber combinaciones. En las generaciones venideras de vehículos, adquirirá importancia la instalación de transmisión eléctrica/electrónica, especialmente para instalaciones de frenos electrónico-hidráulicas y electrónico-neumáticas.

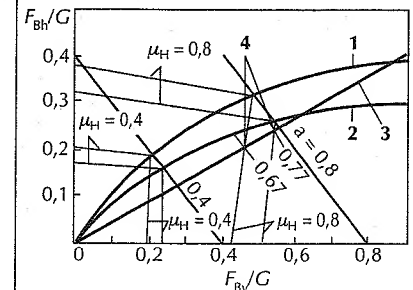
Concepción de instalaciones de frenos

La concepción de una instalación de frenos se efectúa respecto al vehículo o respecto al grupo constructivo.

La concepción referida al vehículo determina la posición del centro de gravedad del vehículo, junto con la distribución escogida de las fuerzas de frenado en los ejes delantero y trasero, para obtener un frenado sin bloqueos bajo un coeficiente predeterminado de arrastre de fuerza neumático/calzada. Para representar esta relación se utiliza el diagrama de distribuciones de la fuerza de frenado. En los ejes de coordenadas se anotan las fuerzas de frenado, en relación con el peso de los ejes delantero y trasero. Los puntos de intersección de las rectas de los coeficientes de arrastre de fuerza de los ejes trasero y delantero forman la parábola de la "distribución ideal" de las fuerzas de frenado. El diagrama se completa con rectas de frenado constante.

Si no está previsto ningún distribuidor de las fuerzas de frenado, entonces la distribución de las fuerzas de frenado que se instala adopta la forma de una recta. La pendiente resulta como relación de las fuerzas de frenado de los ejes delantero y trasero, determinadas por el dimensionado de los frenos de las ruedas. Mientras la recta de la distribución instalada transcurre por debajo de la distribución ideal, las ruedas delanteras bloquean siempre como primeras (distribución estable de las fuerzas de frenado). El punto de bloqueo del

Distribución de las fuerzas de frenado sin distribuidor
*Distribución ideal de las fuerzas de frenado con **1** Peso admitido total, **2** Dispuesto para la marcha (inclusive conductor), **3** Distribución de fuerzas de frenado instalada, **4** Tracción delantera bloqueada. F_{Bh} Fuerza de frenado atrás, F_{Bv} Fuerza de frenado adelante, G Fuerza del peso, a frenado. Coeficientes de arrastre de fuerza: atrás μ_H, adelante μ_V*



eje delantero resulta así como punto de intersección entre la "distribución instalada" y la recta del coeficiente correspondiente de arrastre de fuerza.
Los criterios principales en la concepción son:

- regulaciones legales referentes al frenado mínimo sin bloqueos y a la sucesión de los bloqueos,
- situaciones de carga,
- influencia de la pérdida de fuerza de frenado,
- par de frenado del motor,
- fallo de un circuito de frenos,
- distribuidor de la fuerza de frenado (si existe),
- retardador (si existe).

La concepción con respecto a los grupos componentes se dedica principalmente al dimensionado de los frenos de ruedas y de los dispositivos de accionamiento.
Criterios para la concepción de frenos de ruedas:

- tipo de construcción del freno (freno de tambor o de disco),
- estabilidad (desgaste, solicitaciones),
- espacio disponible para su montaje,
- nivel de presión admitido,
- rigidez (capacidad de admisión de volumen de líquido de frenos en frenos hidráulicos).

Criterios de concepción para los dispositivos de accionamiento:

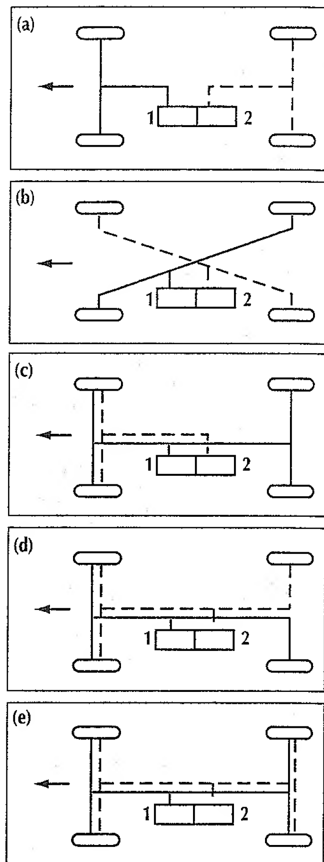
- recorrido y fuerza del pedal en frenados normales, frenados a fondo y al fallar uno de los dos circuitos de frenos o el amplificador de la fuerza de frenado,
- requerimientos de confort,
- espacio para su montaje,
- combinación con sistemas para la regulación de la fuerza de frenado.

Distribución de los circuitos de frenos

Las normas legales exigen un instalación de transmisión de dos circuitos.

De las cinco posibilidades de distribución según DIN 74000, se han impuesto las distribuciones II y X. Teniendo un requerimiento mínimo de conductos, mangueras, conexiones separables y empaquetaduras estáticas o dinámicas, son comparables con un sistema

Variantes de la distribución de los circuitos de frenos
(a) Distribución II, (b) Distribución X, (c) Distribución HI, (d) Distribución LL, (e) Distribución HH
1 Circuito de frenos 1, 2 Circuito de frenos 2
← sentido de la marcha



de un solo circuito respecto a su riesgo de fallo por fugas o pérdidas. Al fallar un circuito de frenos por esfuerzo térmico excesivo de un freno de rueda hidráulico, las distribuciones HI, LL y HH, son especialmente críticas porque el fallo de ambos frenos de rueda en una rueda puede llevar al fallo total de los frenos.

Para cumplir con las normas legales referentes al efecto de frenado auxiliar, se equipan los vehículos con predominio

frontal de la carga con la distribución X. La distribución II se presta preferentemente para vehículos con carga predominantemente en la parte trasera, así como también para vehículos industriales medianos y pesados.

Distribución II
Distribución entre los ejes delantero y trasero. Un circuito actúa sobre el eje delantero y el otro sobre el eje trasero.

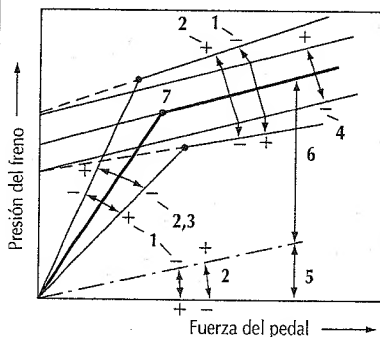
Distribución X
Distribución diagonal. Cada circuito de frenos actúa sobre una rueda delantera y trasera diagonalmente opuesta.

Distribución HI
Distribución ejes delantero/trasero y eje delantero. Un circuito actúa a la vez sobre ambos, mientras que el otro circuito actúa solamente sobre el eje delantero.

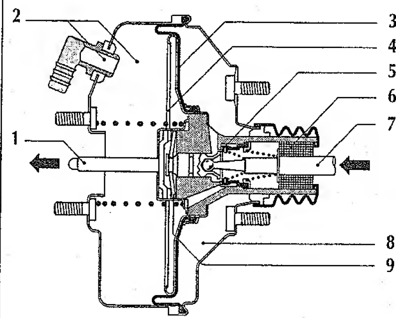
Distribución LL
Distribución ejes delantero/trasero y ejes delantero/eje trasero. Cada circuito actúa sobre el eje delantero y una rueda del eje trasero.

Distribución HH
Distribución ejes delantero/trasero y ejes delantero/trasero. Cada circuito de frenos actúa sobre los dos ejes.

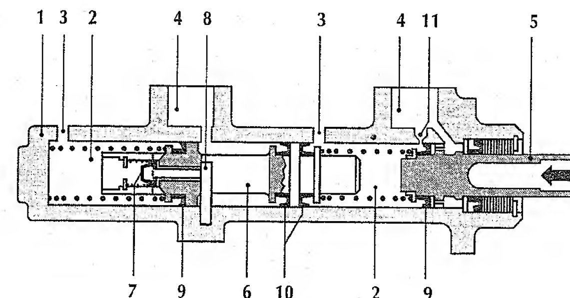
Amplificador por depresión de la fuerza de frenado
Influencia de los parámetros de concepción
1 Superficie del cilindro principal, 2 Relación de transmisión del pedal, 3 Factor de amplificación (transmisión del pedal), 4 Superficie de la membrana, nivel de depresión, 5 Proporción de la fuerza del pedal, 6 Proporción de la fuerza auxiliar, 7 Punto de modulación



Amplificador por depresión de la fuerza de frenado
1 Vástago de presión, 2 Cámara de depresión con conexión de depresión, 3 Membrana, 4 Émbolo de trabajo, 5 Válvula doble, 6 Filtro de aire, 7 Vástago del émbolo, 8 Cámara de trabajo, 9 Elemento de reacción



Cilindro principal en tandem, con válvula central en el circuito secundario
1 Cuerpo del cilindro,
2 Cámara de presión,
3 Conexión de presión,
4 Conexión para depósito de compensación,
5 Émbolo de vástago de presión,
6 Émbolo intermedio,
7 Válvula central,
8 Tope para la válvula central,
9 Cierre principal (junta),
10 Cierre de separación (junta),
11 Perforación del avance



Instalaciones de frenos para automóviles y vehículos industriales ligeros

Dispositivos de accionamiento

El dispositivo de accionamiento consta de:
- Pedal de freno,
- Amplificador de la fuerza de frenado,
- Cilindro principal,
- Deposito de líquido de frenos,
- Dispositivos de alarma para el caso de fallo de un circuito de frenos y
- Para el caso de pérdidas de líquido de frenos.

Aparte de esta disposición estándar, se utilizan a veces también amplificadores hidráulicos o instalaciones de freno hidráulicas con fuerza auxiliar. En las instalaciones de freno con fuerza auxiliar una válvula de freno sustituye al amplificador de fuerza de freno y al cilindro principal. En función de la fuerza del pedal se regula la presión de freno deseada. Para la acumulación y producción de la energía se tienen que instalar acumuladores de alta presión y sus bombas correspondientes.

Por su construcción sencilla y de bajo coste, se utiliza principalmente el amplificador de fuerza de frenado de depresión. En este tipo de amplificador, en función de la fuerza del pedal, se agrega presión exterior de aire de la membrana de trabajo, además de la del pedal mientras que en el otro lado de la membrana subsiste depresión. La fuerza sobre la membrana de trabajo, resultante de la diferencia de presiones, origina una proporción de fuerza que ayuda a la fuerza del pie. La representación simplificada en forma de diagrama indica cualitativamente, sin considerar rendimientos ni pérdidas de fuerzas, los principales parámetros sobre la presión de frenado:
- Relación de transmisión del pedal,
- Factor de amplificación,
- Superficie de membrana,
- Nivel de depresión,
- Superficie del cilindro principal.

La presión de frenado resulta de la fuerza del pedal y de la fuerza auxiliar. La proporción de fuerza auxiliar aumenta constantemente hasta el punto de modulación, correspondiendo al factor de amplificación determinado por la construcción. En el punto de modulación se alcanza la diferencia máxima de presión entre la presión atmosférica exterior y la depresión. Un ulterior incremento de la fuerza de salida solamente es posible mediante un inusual aumento de la fuerza del pedal. Por ello la concepción del amplificador debe asegurar que no se supere notablemente el punto de modulación ni siquiera en las desaceleraciones mayores del vehículo.

De gran importancia para la fuerza de salida es la superficie de la membrana. Para esfuerzos grandes se disponen dos membranas en tándem. El diámetro técnicamente aún aceptable de la membrana es de 250 mm. La depresión máxima de 0,8 bar se produce en los motores Otto en el tubo de aspiración con la válvula de estrangulamiento (mariposa) cerrada. Los motores diesel necesitan una bomba de vacío de membrana.

Debido a que especialmente los vehículos más pesados requieren presiones de freno mayores, son apropiados en ellos los amplificadores hidráulicos, los cuales pueden estar concebidos según el mismo principio de funcionamiento.

El suministro de energía se efectúa muchas veces desde la bomba del freno asistido mediante un acumulador hidráulico intercalado, para reducir la influencia recíproca entre los circuitos de frenos y la dirección.

La fuerza de salida actúa mediante un taqué directamente sobre el émbolo de vástago de presión en el cilindro principal en tándem. La presión hidráulica así producida se transmite sobre el émbolo intermedio, dispuesto de forma "flotante", de manera que en los dos compartimientos de presión se obtienen presiones aproximadamente iguales.

Al fallar un circuito de frenos, o bien el émbolo de vástago se apoya en el émbolo intermedio o el intermedio avanza hasta el fondo del cilindro principal. Este proceso se nota en el pedal por su recorrido grande y casi exento de fuerza.

En vehículos con distribución II se ha impuesto un cilindro principal progresivo. El circuito del eje trasero se impulsa por el émbolo intermedio, que tiene un diámetro menor que el del émbolo de vástago de presión. Si falla el circuito del eje delantero, aumenta, con la misma fuerza del pedal, la presión en el circuito del eje trasero en la relación de las superficies de los émbolos intermedio y de vástago de presión.

Para compensar el desgaste de las guarniciones de freno o eventuales fugas, el cilindro principal está comunicado con el depósito de líquido de frenos. Con el freno suelto, se abre ya sea una válvula dispuesta centralmente en el émbolo del cilindro principal o bien el cierre (junta) del émbolo descubre una perforación de avance. Esto asegura que el freno queda exento de presión en la posición de reposo o que se puedan compensar pérdidas de líquido de frenos. La desventaja de esta disposición sencilla está en que el circuito afectado por una formación de burbujas de vapor, debidas a un esfuerzo térmico excesivo, se vacía a freno suelto. En un frenado posterior eventualmente ya no puede obtenerse la presión requerida.

Para evitar el vaciado completo del deposito, incluso en fugas mayores, éste también está construido, al menos a partir de un determinado nivel de líquido, en forma de dos circuitos. Si el nivel del líquido baja demasiado, entonces dos interruptores de flotador accionan una indicación óptica. En vez de los interruptores de flotador se instalan a veces unos interruptores de diferencia de presión en el cilindro principal para indicar el fallo de uno de los circuitos de frenos.

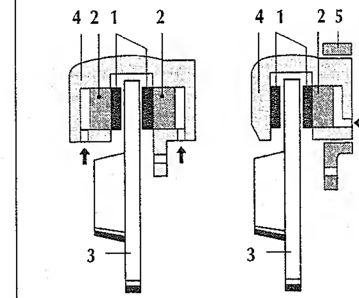
Frenos de ruedas

Un freno de ruedas debe cumplir las siguientes exigencias:
- Actuación uniforme,
- Buena dosificación,
- Insensible contra suciedad y corrosión,
- Alta fiabilidad,
- Resistencia al desgaste,
- Mantenimiento reducido.

Mientras que los frenos de tambor cumplen las exigencias principales en sus diferentes formas constructivas para automóviles pequeños o vehículos industriales pequeños, en los automóviles más pesados y más rápidos la acción uniforme y la buena posibilidad de dosificación se pueden realizar solamente con frenos de disco.

En la práctica se ha impuesto el disco de freno de fundición gris con montura de freno que envuelve exteriormente. El disco de freno normalmente está en el plato de la rueda. Esta disposición requiere una buena cesión del calor por radiación, convección y conducción térmica. En vehículos de altas prestaciones ayudan a reducir las temperaturas del disco unas medidas adicionales como pueden ser discos de freno ventilados interiormente, chapas de conducción de aire y ruedas optimizadas en su caudal de paso de aire.

Frenos de disco
(a) *Montura fija*, (b) *Montura flotante*
1 *Guarniciones de freno*, 2 *Embolos*, 3 *Disco de freno*, 4 *Armazón*, 5 *Soporte*



Las monturas de frenos se subdividen en fijas y flotantes.

Las monturas fijas envuelven el disco mediante un armazón rígido. Unos embolos de presión opuestos presionan las guarniciones contra el disco de freno.

En las monturas flotantes se han impuesto dos formas básicas: montura de marco flotante y montura de puño. En ambas formas constructivas el o los émbolos de presión actúan directamente sobre la guarnición ubicada hacia el lado interior del vehículo. La guarnición de freno del lado exterior es tirada hacia el disco mediante el marco flotante o el puño que envuelve el disco. Las monturas flotantes tienen las siguientes ventajas en comparación con las monturas rígidas:
- Menor espacio de montaje entre el disco de freno y el plato de rueda (ventajoso en construcciones de ejes con un radio pequeño o negativo del círculo de giro),
- Condiciones térmicas favorables, porque sobre la zona crítica de calentamiento por encima del disco de freno no pasan conducciones hidráulicas.

Las desventajas debidas a la forma de construcción (tendencia a ruidos de tableteo, al chirrido de los frenos, al desgaste oblicuo de las guarniciones, así como también a la corrosión en los elementos de

guía) pueden compensarse mediante medidas constructivas.

Distribuidores de la fuerza de frenado

En comparación con los reguladores de la fuerza de frenado (sistemas de antibloqueo), los distribuidores de la fuerza de frenado sólo son elementos de mando. Se diferencian por su función como limitadores o reductores de la fuerza de frenado o por sus parámetros de influencia como pueden ser la presión de freno, la carga sobre el eje o la desaceleración.

Su misión es adaptar mejor la distribución de la fuerza de frenado, determinada por el dimensionado entre los frenos de ruedas de los ejes delantero y trasero, a la distribución ideal, es decir a su desarrollo en forma de parábola. La distribución ideal de la fuerza de frenado sólo depende de la posición del centro de gravedad del vehículo y del frenado en el instante correspondiente. Estas relaciones se representan de forma gráfica en el diagrama sin dimensiones de la distribución de fuerzas de frenado. En los ejes de coordenadas figuran las fuerzas de frenado en los ejes delantero y trasero, en función del peso. Las curvas de frenados iguales figuran como rectas con pendiente negativa (–1). Las distribuciones ideales de fuerzas de frenado para la situación de carga del vehículo "listo para la marcha" y "peso total admitido" se desarrollan en forma de parábola. El diagrama "a" representa limitadores de fuerza de frenado y el diagrama "b" reductores de fuerza de frenado.

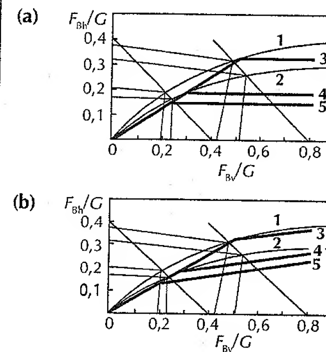
Los distribuidores dependientes de la presión, en "listo para la marcha", se acercan bien a la distribución ideal. En "peso total admitido" (parábola superior), sin embargo, se alejan después del accionamiento del limitador o reductor (doblez), es decir que la proporción de la fuerza de frenado en el eje trasero disminuye al aumentar la carga sobre dicho eje.

En el distribuidor dependiente de carga el punto de accionamiento se desplaza hacia arriba al aumentar la carga, permitiendo así un buen acercamiento a la distribución ideal de la fuerza de frenado en todas las situaciones de carga.

El distribuidor dependiente de la desaceleración reacciona a una desaceleración determinada y con ello es casi independiente de la carga.

Diagrama de la distribución de la fuerza de frenado

(a) *Limitador de la fuerza de frenado,* (b) *Reductor de la fuerza de frenado,* F_{Bh} *Fuerza de frenado atrás,* F_{Bv} *Fuerza de frenado delante, G Fuerza del peso,* **1** *Cargado,* **2** *Vacío,* **3** *Dependiente de la carga cargada,* **4** *Dependiente de la presión vacío, dependiente de la desaceleración cargada y vacío, dependiente de la carga vacío,* **5** *Dependiente de la presión cargada*



La concepción de los distribuidores debe asegurar que la distribución de las fuerzas de frenado no transcurra por encima de la distribución ideal. También se han de tener en cuenta las influencias de las variaciones del coeficiente de rozamiento de las guarniciones, el par de frenado del motor y las tolerancias del distribuidor, para evitar un eventual frenado excesivo del eje trasero. En la práctica esto significa que se debería evitar que la distribución instalada, con su doblez, debería situarse claramente por debajo de la distribución ideal.

La determinación del distribuidor se efectúa, entre otros, según los siguientes criterios:
- Aptitud para ABS,
- Requerimiento constructivo en dos circuitos de frenado separados en el eje trasero (p.ej. distribución X),
- Posibilidad de efectuar un puente en el caso de fallo de un circuito de frenos, en especial en el caso de limitadores,
- Posibilidad de comprobación del ajuste y funcionamiento correctos.

Los vehículos con condiciones de carga compensadas no han de llevar forzosamente distribuidor, puesto que los inconvenientes de un defecto no detectado del distribuidor se compensan con sus reducidas ventajas.

Sistemas antibloqueo (ABS) para turismos

Los sistemas antibloqueo ABS son dispositivos de regulación en el sistema de frenos que evitan el bloqueo de las ruedas al frenar, manteniendo así la capacidad de conducción y la estabilidad. Los principales componentes del ABS son:

Dispositivo hidráulico, sensores del número de revoluciones de las ruedas y dispositivo de mando para el procesamiento de los datos y el envío de datos a los actuadores en el dispositivo hidráulico y la luz de señal.

Principios del proceso de regulación

Al frenar aumenta la presión de frenado y también el resbalamiento λ del freno y alcanza el límite entre el campo estable y el inestable, en el punto más alto de la curva de arrastre de fuerza/resbalamiento. La posterior elevación de la presión o par de frenado no produce a partir de ese punto ninguna otra elevación de la fuerza de frenado F_B. En el campo estable, el resbalamiento del freno es más que nada resbalamiento de modificación de forma y en el campo inestable hay cada vez más resbalamiento de deslizamiento.

Resbalamiento de freno $\lambda = (v_F - v_R)/v_F \cdot 100\%$

Velocidad de la rueda $v_R = r \cdot \omega$

Fuerza frenado $F_B = \mu_{HF} \cdot G$

Fuerza lateral $F_S = \mu_S \cdot G$

Coeficiente de fuerza de frenado μ_{HF}

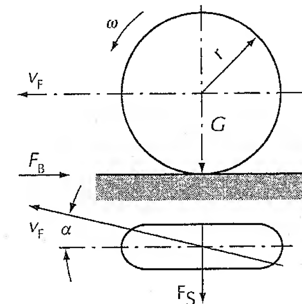
Coeficiente de fuerza lateral μ_S

Según sea la evolución de la curva de resbalamiento tiene lugar un descenso más o menos fuerte del coeficiente de la fuerza de frenado μ_{HF}. El par excedente realiza, sin ABS, el frenado de la rueda hasta pararla en un tiempo cortísimo, lo que produce una fuerte elevación de la desaceleración de la rueda.

El sensor de revoluciones de la rueda vigila el estado del movimiento de la rueda. Si en una rueda se presenta tendencia al bloqueo, aumenta fuertemente en ella la desaceleración tangencial y el resbalamiento. Si se sobrepasan ciertos valores críticos, entonces la unidad de control da órdenes al grupo hidráulico, tales como detener la presión del freno de la rueda o disminuir esa presión hasta que se elimine el peligro de bloqueo. Para que con esto la

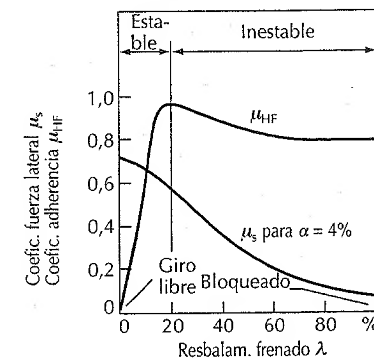
Fuerzas en la rueda al frenar

G Fuerza del peso, F_B *Fuerza del frenado,* F_s *Fuerza lateral,* v_F *Velocidad del vehículo,* α *Ángulo de marcha oblicua,* ω *Velocidad angular*



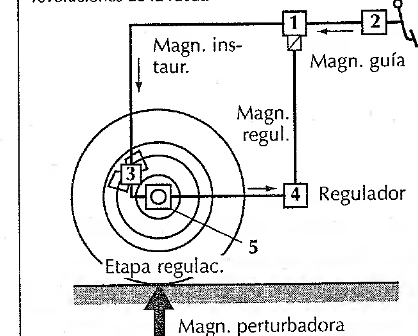
Arrastre de fuerza/curva de resbalamiento

La forma de la curva varía mucho según el estado de la calzada y de los neumáticos



Circuito de regulación ABS

1 *Válvula elecromagnética,* **2** *Cilindro principal,* **3** *Cilindro de freno,* **4** *Ordenador electrónico,* **5** *Sensor de revoluciones de la rueda*



rueda no quede poco frenada, la presión de frenado debe volver a acumularse de nuevo. Durante la regulación del frenado debe regularse alternativamente siempre la estabilidad e inestabilidad del movimiento de la rueda, y por medio de una secuencia cíclica de acumulación de presión, el descenso de la presión y el detenimiento de la presión, regulando la fuerza máxima de frenado en la zona de resbalamiento.

Magnitudes perturbadoras en el circuito de regulación

El ABS debe tener en cuenta las siguientes magnitudes perturbadoras:

- Variaciones del arrastre de fuerza entre neumáticos y calzada debido a los diferentes firmes y las variaciones de carga sobre las ruedas, por ejemplo, en las curvas.
- Desigualdades en la calzada que provocan vibraciones en las ruedas y en los ejes.
- Falta de concentricidad, histéresis de los frenos.
- Variaciones de presión en el cilindro principal inducidas por el conductor y
- diferentes perímetros de las ruedas, p.ej. en la rueda de recambio.

Criterios sobre la calidad de regulación

Los sistemas antibloqueo eficaces deben cumplir para su buena regulación los siguientes criterios:

- Mantenimiento de la estabilidad de marcha mediante la formación de las suficientes fuerzas de guía laterales en las ruedas traseras.
- Mantenimiento de la capacidad de dirección preparando las suficientes fuerzas de guía lateral en las ruedas delanteras.
- Acortamiento del recorrido de frenado con respecto al frenado con bloqueo, por medio de la utilización óptima del arrastre de fuerza entre neumáticos y calzada.
- Adaptación rápida de la presión de frenado a los diferentes coeficientes de arrastre de fuerza.
- Garantía de amplitudes de regulación del par de frenado pequeñas para evitar vibraciones del mecanismo de traslación.
- Alto confort mediante reacciones pequeñas del pedal y nivel reducido de ruidos de los actuadores.

Variantes del sistema ABS

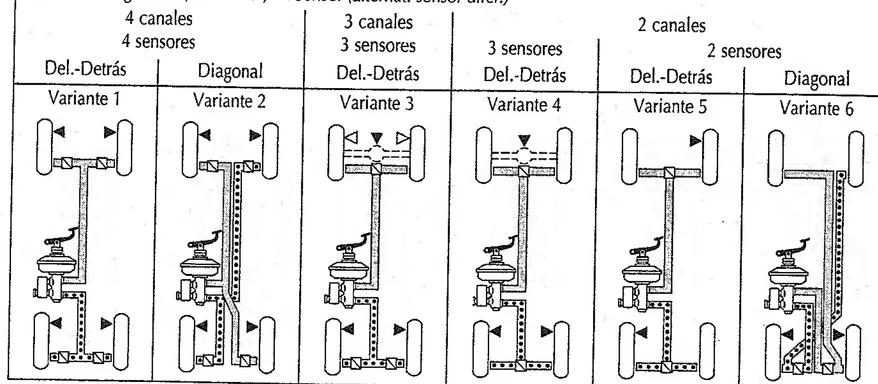
En dependencia del reparto de la fuerza de frenado, de la concepción del vehículo, de las exigencias de funcionamiento y de los puntos de vista económicos, pueden presentarse diferentes formas de ejecución. La figura muestra las variantes posibles del sistema, que se describen a continuación, clasificadas por número de canales y de sensores.

Sistemas de 4 canales (variantes 1 y 2)

Estos sistemas permiten la regulación individual de la presión de freno en la rueda para un reparto por circuito delante/detrás (II) y diagonal (X). Para no poner en peligro la estabilidad de conducción al frenar en firmes asimétricos, porque el par de giro (sobre el eje vertical) es muy grande, se regulan las ruedas delanteras de forma individual y las ruedas traseras según el principio "select-low" (es decir que la rueda trasera con el valor de adherencia menor determina la presión común de frenado de las ruedas traseras).

Variantes del sistema ABS

☐ Canal de regulación, ◀ Sensor, ◁ Sensor (alternat. sensor difer.)



Sistema de 3 canales (variante 3)

Al frenar sobre una calzada asimétrica el par de giro sobre el eje vertical también aquí es tan reducido (debido al principio del sistema), que se domina bien esta condición de frenado en turismos con gran distancia entre ejes (batalla) y elevado par de inercia alrededor del eje vertical.

En los turismos con poca batalla y momento de inercia pequeño, con sistemas de 3 y de 4 canales, se necesita no obstante una desaceleración momentánea de la formación del par de giro sobre el eje vertical. Al frenar en firmes asimétricos, retrasa la formación del par de frenado en la rueda delantera con mayor coeficiente de arrastre de fuerza, con lo cual el conductor dispone del tiempo suficiente para corregir con el volante el par de giro sobre el eje vertical.

Sistemas de 2 canales (variantes 4, 5 y 6)

Los sistemas de 2 canales poseen un número menor de componentes que los sistemas de 3 y de 4 canales y por ello se pueden fabricar a menor coste; pero ellos tienen limitaciones en sus funciones.

En la variante 4 en el tipo de funcionamiento "Select-high" (la rueda delantera con mayor coeficiente de arrastre de fuerza determina la presión común de frenado de ambas ruedas) se aumenta el desgaste de neumáticos y se perjudica la capacidad de dirección, porque prácticamente en cada frenado a fondo una de las ruedas delanteras bloquea. En la variante 5 esto sucede siempre cuando la rueda delantera supervisada por el sensor encuentra un valor de adherencia mayor que la rueda sin sensor. La variante 6 se puede utilizar solamente en la distribución de frenado en diagonal. En este tipo se regula por separado la presión de frenado de las ruedas delanteras, mientras que la presión de frenado de las traseras se regula en común. Puesto que el ajuste entre los dos ejes siempre tiene que asegurar que las ruedas traseras no se bloqueen, sólo se puede obtener un frenado menor en comparación con los sistemas de 3 y 4 canales.

Tipos de ABS

ABS 2S de 3 / 4 canales (Bosch)

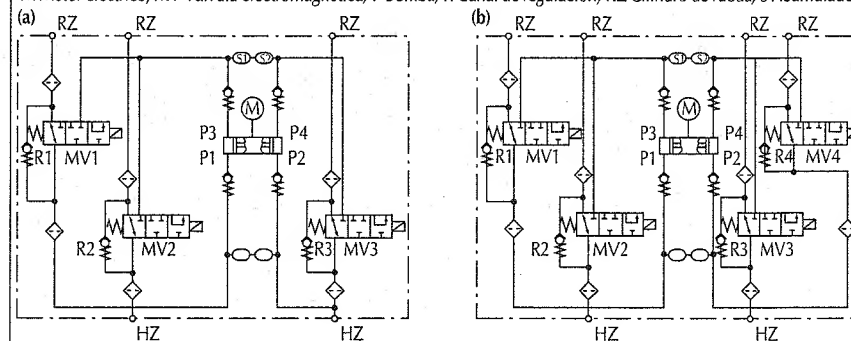
En este sistema el ABS y el amplificador de la fuerza de frenado (servo) están separados.

El grupo hidráulico de 3 canales para el reparto II del circuito de frenos delante/detrás, comprende tres válvulas electromagnéticas, que permiten tres posiciones, y una bomba de retorno con accionamiento por motor eléctrico.

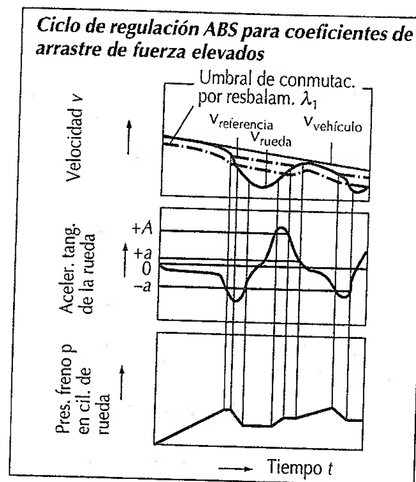
En la primera posición, no excitada, existe el paso total desde el cilindro principal al del freno de rueda, de manera que al frenar y durante la regulación del frenado, aumenta la presión del freno de la rueda. En la segunda posición, excitada con la mitad de la corriente máxima. el paso desde el cilindro principal al de freno de la rueda queda interrumpido, de forma que la presión de frenado de la rueda permanece constante. En la tercera posición, excitada con la corriente máxima, el cilindro del freno de la rueda queda derivado al retorno, de forma que baja la presión de freno de la rueda.

Esquemas de conmutación de los grupos hidráulicos

(a) Grupo hidráulico de tres canales, (b) Grupo hidráulico de cuatro canales, D Amortiguador, HZ Cilindro principal, M Motor eléctrico, MV Válvula electromagnética, P Bomba, R Canal de regulación, RZ Cilindro de rueda, S Acumulador



Ciclo de regulación ABS para coeficientes de arrastre de fuerza elevados



La descompresión dura aproximadamente 20 ms y el aumento de la presión aproximadamente 200 ms.

En el grupo hidráulico de 4 canales se necesitan cuatro válvulas electromagnéticas para la distribución de frenado en diagonal, porque los frenos de las ruedas traseras pertenecen a circuitos de freno diferentes. Las dos válvulas de las ruedas traseras, sin embargo, se regulan en común, de forma que en los frenos de ambas se tiene la misma presión y se permite la regulación "select-low".

El ciclo de regulación representado muestra una regulación de frenado en el caso de un elevado coeficiente de adherencia. En el regulador electrónico se determina la variación del número de revoluciones de la rueda (desaceleración). Al quedar por debajo del umbral (–*a*), el conjunto de válvulas del grupo hidráulico se conmuta a mantenimiento de la presión. Si entonces la velocidad de la rueda queda además por debajo del umbral de conexión de resbalamiento λ_1, el conjunto de válvulas del grupo hidráulico se conmuta a rebajar la presión y continúa así hasta tanto corresponda a la señal (–*a*). Durante la siguiente fase de mantenimiento de la presión crece la aceleración tangencial de la rueda hasta que se sobrepasa el umbral (+*a*) y a partir de ese momento se mantiene constante la presión. Después de rebasar el umbral relativamente grande (+*A*), se eleva la presión del freno, para que la rueda no ruede con una aceleración demasiado grande dentro de la zona estable de la curva de arrastre de fuerza/resbalamiento. Después de la caída de la señal (+*a*) sube lentamente la presión del freno, hasta que de nuevo, queda por debajo del umbral (–*a*) del segundo ciclo de regulación y vuelve a ser introducido un aumento inmediato de la presión. En el primer ciclo de regulación era necesaria una fase corta de mantenimiento para el filtrado de las perturbaciones. Con un par de inercia grande de la rueda, un coeficiente de fuerza de frenado pequeño y un aumento lento de la presión (frenado con precaución, por ejemplo, en calzadas heladas) podría bloquearse la rueda sin solicitar el umbral de conmutación de la desaceleración. Para ello se utiliza en ese caso el resbalamiento de rueda para la regulación del frenado. Partiendo de las velocidades de las ruedas se obtiene la velocidad de referencia por medio de procesos lógicos, que corresponde a la velocidad de rueda aproximada que dé el máximo de arrastre de fuerza. Al llegarse a un determinado valor del resbalamiento se produce también una disminución de la presión de frenado.

En los turismos con tracción a las cuatro ruedas, cuando está aplicado el bloqueo del diferencial y en determinados estados de la calzada, se presentan problemas en el funcionamiento con ABS que exigen medidas especiales. Si el motor está embragado y el bloqueo central conectado, con un coeficiente de arrastre de fuerza pequeño se puede producir un proceso de frenado que conduzca al bloqueo de todas las ruedas. Este peligro de bloqueo se evita por medio del refuerzo de la velocidad de referencia, disminución del umbral de desaceleración de rueda y disminución del par de arrastre del motor.

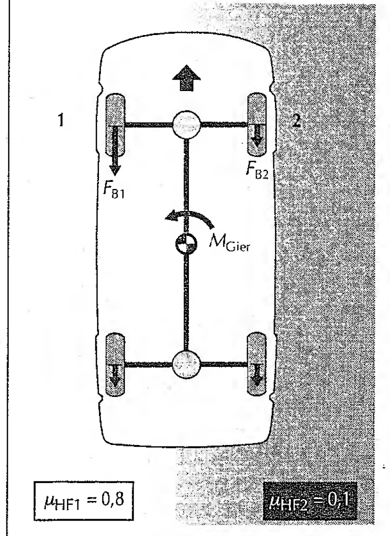
Regulación del frenado con retraso de la formación del par de giro sobre el eje vertical (Bosch)

Al frenar sobre calzadas asimétricas (p.ej. las ruedas de la izquierda circulan sobre una calzada de asfalto seco y las de la derecha sobre hielo), en las ruedas delanteras se producen fuerzas de frenado muy diferentes que ocasionan un par de giro sobre el eje vertical del vehículo.

En automóviles pesados este giro alrededor el eje vertical se produce tan lentamen-

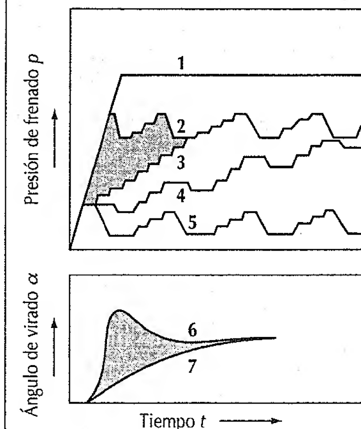
Formación del par de giro sobre el eje vertical con coeficientes de adherencia muy diferentes

M_{Gier} Par de giro sobre el eje vertical, F_B Fuerza de frenado, μ_{HF} Coeficientes de adherencia
1 Rueda "high", 2 Rueda "low"



Evolución presión de freno/ángulo de virado de dirección con retraso en la formación del par de giro sobre el eje vertical (GMA)

1 Presión del cilindro principal p_{HZ}, 2 Presión de freno p_{high} sin GMA, 3 p_{high} con GMA 1, 4 p_{high} con GMA 2, 5 p_{low} en rueda "low", 6 Ángulo de virado de dirección α sin GMA, 7 Ángulo de virado de dirección α con GMA



te, que el conductor puede compensar con suficiente rapidez el movimiento giratorio frenando con el ABS y efectuando correcciones con la dirección. Los automóviles pequeños necesitan, además del ABS un retraso adicional de la formación del par de giro sobre el eje vertical (GMA), para poder seguir siendo bien dominados en frenazos de urgencias sobre calzadas asimétricas. La GMA origina en la rueda delantera, que va rodando sobre el lado de la calzada con mayor coeficiente de adherencia (rueda "high"), una formación retrasada de la presión en el cilindro de rueda.

El diagrama explica el principio del GMA: la curva 1 muestra la presión del cilindro principal p_{HZ}. Sin GMA, después de un breve tiempo, la rueda sobre asfalto tiene la presión p_{high} (curva 2), mientras que la rueda sobre el hielo tiene la presión p_{low} (curva 5); cada rueda frena con la desaceleración máxima posible para su caso (regulación individual).

Para vehículos con comportamiento de marcha menos crítico, se presta mejor el sistema GMA 1 (curva 3); para vehículos con comportamiento de marcha especialmente crítico, el sistema GMA 2 (curva 4).

En todos los casos del GMA la rueda "high" al comienzo es frenada menos de lo necesario. Para evitar prolongamientos innecesarios de los recorridos de frenado hay que ajustar pues muy cuidadosamente el GMA al vehículo.

ABS2E (Bosch)

Esta versión ofrece como "ABS total" de poco coste (una válvula electromagnética de tres posiciones con escalón de regulación susceptible de mando electrónico fue reemplazada por un émbolo buzo o flotante) la misma seguridad y funciones que el ABS2S, con pequeñas limitaciones en el confort del efecto de retorno del pedal de freno y del ruido.

En un frenado normal sin ABS el líquido de frenos fluye a través de la válvula electromagnética del eje trasero (4) hacia la rueda posterior derecha (HR) y a través de la válvula central (6) del émbolo buzo hacia la rueda posterior izquierda (HL).

En un frenado con ABS las dos válvulas electromagnéticas dispuestas a la izquierda (2) regulan cada una un freno de rueda delantera. La válvula electromagnética del eje

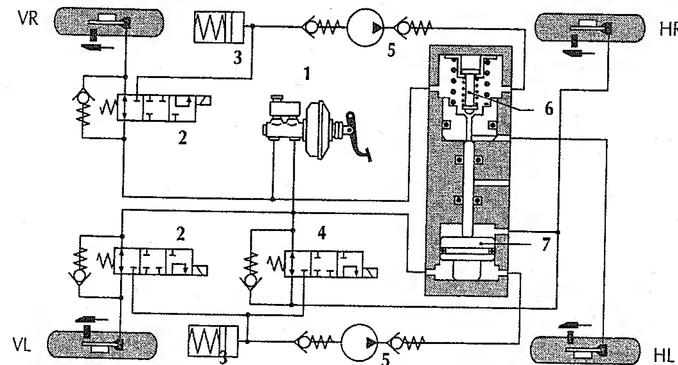
trasero actúa directamente sobre la rueda posterior derecha. Si p.ej. el dispositivo de mando le da la orden a la válvula electromagnética del eje trasero (4) de reducir la presión, entonces conmuta hacia la posición 3, con lo cual se descarga fluido desde la rueda posterior derecha (HR) hacia la cámara de acumulación (3) a través de la válvula (4), reduciéndose así la presión en el freno de rueda (HR). Esta reducción de la presión llega también a la superficie del émbolo buzo (7), puesto que este compartimiento está conectado hidráulicamente con el freno de rueda (HR). El lado inferior del émbolo (7) recibe la presión del cilindro principal (1), lo cual lleva a un movimiento hacia arriba del conjunto del émbolo buzo, debido a la fuerza resultante sobre el émbolo (7). Así el émbolo buzo superior se mueve contra el taqué de la válvula central (6), cerrando la válvula central y, al seguir con el movimiento ascendente, capta volumen del freno de rueda posterior (HL) y así se reduce de forma deseada la presión en el freno (HL) y en el lado superior del émbolo buzo. El movimiento de éste llega a pararse cuando la fuerza resultante sobre el conjunto del émbolo ha llegado a cero: esto es el caso cuando las presiones de los frenos de ruedas (HL) y (HR) son iguales. El comportamiento esquematizado para el incremento de la presión también se presenta con el mismo sentido al mantenerse la presión o al reducirla y viene determinado por las posiciones de conmutación de la válvula (4).

ABS5 (Bosch)
El ABS5 se basa en el mismo principio de trasiego de retorno que el ABS2S y consta de los siguientes componentes hidráulicos para cada uno de los circuitos de frenos (en distribuciones II y X):
- Bomba de trasiego de retorno,
- Cámara de acumulación,
- Cámaras de amortiguación y
- Válvulas electromagnéticas cada una con dos posiciones hidráulicas (válvulas electromagnéticas 2/2)

Por cada rueda (o eje trasero en distribución de la fuerza de frenado II) está previsto un par de válvulas electromagnéticas: una abierta sin corriente (EV) para la formación de la presión (admisión) y otra cerrada sin corriente (AV) para la descarga de presión (salida). Para la descarga de presión más rápida de los frenos de ruedas, al soltar el freno, se ha dispuesto una válvula de retención, conformada como un manguito en el cuerpo de la válvula.

La asignación de formación y descarga de presión a una válvula electromagnética con una sola posición activa (de paso de caudal) lleva a construcciones más compactas de las válvulas con sólo dos conexiones hidráulicas, menor volumen y peso, fuerzas magnéticas menores que permiten así un mando con sólo un transistor de conmutación, con el resultado de menos pérdida de potencia eléctrica en las bobinas magnéticas y en el dispositivo de mando. El bloque para soporte de las válvulas electromagnéticas 2/2 lleva a un dispositivo hidráulico menor y permite así la integración del dispositivo de mando directamente en el dispositivo hidráulico (dispositivo de mando anexo), con la ventaja de un mazo de cables menor en el vehículo. Las válvulas electromagnéticas 2/2 permiten tiempos de conmutación más breves, debido a su construcción más compacta, incluso hasta el funcionamiento en la cadencia de los ciclos, lo cual aporta una notable mejora de funciones (p.ej. ajuste a cambios en los coeficientes de adherencia) y de confort de regulación (p.ej. variaciones menores en la desaceleración mediante la ayuda de escalones de presión o menos ruidos de válvulas).

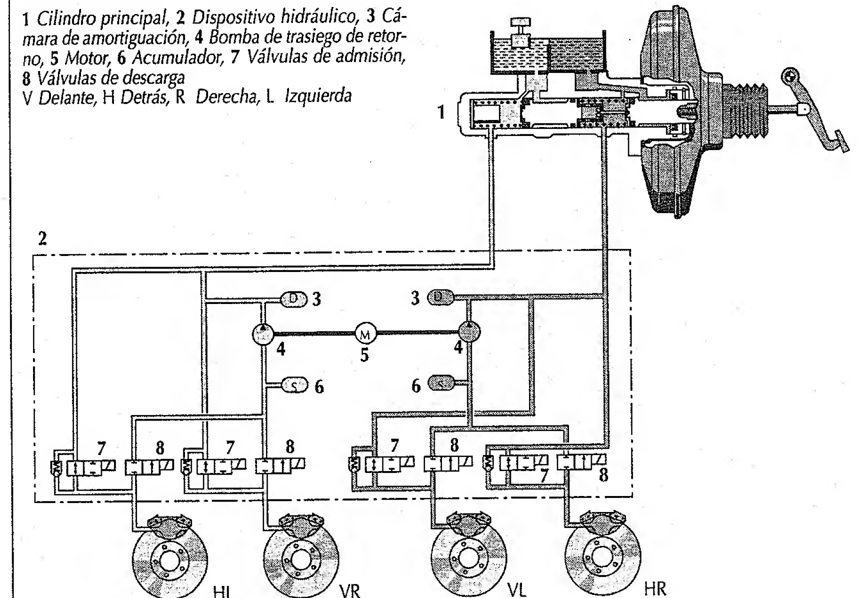
Mediante la variación de los motores eléctricos de accionamiento, del volumen de las cámaras de acumulación y un estrangulamiento hidráulico (estrechamiento) de las secciones de paso en las válvulas electromagnéticas, se ha creado con la familia del ABS5 una nueva generación de sistemas de antibloqueo, que permite su utilización en todos los modelos usuales de automóviles.



Sistema hidráulico ABS2E (distribución de circuitos de frenos X)
1 Amplificador de la fuerza de frenado, 2 Válvulas electromagnéticas, 3 Cámaras de acumulación, 4 Válvula electromagnética del eje trasero, 5 Bomba de trasiego de retorno de dos circuitos, 6 Válvula central, 7 Émbolo buzo
V Delante, H Detrás, R Derecha, L Izquierda

ABS con ASR (Bosch)
Véase "Regulación del resbalamiento en la tracción", pág. 574.

ABS e hidráulica FDR (Bosch)
Para una regulación perfecta de la dinámica de marcha (FDR, regulación de la dinámica de marcha) es necesario una formación suficientemente rápida de la fuerza de frenado en las ruedas. Puesto que por un lado a temperaturas bajas y coeficientes de adherencia pequeños la regulación de la dinámica de marcha tiene que actuar más a menudo, y por otro lado la viscosidad del líquido de frenos aumenta considerablemente, se tiene que modificar el concepto hidráulico del ABS/ASR (ver figura). Como sistema básico de partida se utiliza el ABS/ASR5, tal como se ha descrito en el capítulo ABS con ASR (Bosch); el aseguramiento de la potencia de la bomba de trasiego de retorno (RFP) en intervenciones activas en tiempo frío, se consigue mediante una bomba de carga previa (VLP). Por el requerimiento de depósitos cerrados y separados, esta bomba de carga previa



Sistema hidráulico ABS5 *(distribución de fuerza de frenado X)*
1 Cilindro principal, 2 Dispositivo hidráulico, 3 Cámara de amortiguación, 4 Bomba de trasiego de retorno, 5 Motor, 6 Acumulador, 7 Válvulas de admisión, 8 Válvulas de descarga
V Delante, H Detrás, R Derecha, L Izquierda

no puede estar antepuesta directamente a las bombas de trasiego de retorno, sino que actúa sobre una unidad de émbolos de carga (LKE), montada entre el cilindro principal y la hidráulica ABS/ASR. Cuando se necesita una presión activa de frenado se conecta la bomba de carga previa (igual a las válvulas de carga previa [VLV], así como también a las válvulas de conmutación [USV]), la cual transporta líquido de frenos hacia la unidad de émbolos de carga, separando así los émbolos de la unidad de émbolos de carga.

Por ello las válvulas centrales de los émbolos de la LKE se cierran mecánicamente y el volumen ulteriormente desplazado de los dos cilindros de la LKE es presionando hacia las bombas de trasiego de la hidráulica del ABS/ASR de retorno a través de las válvulas abiertas de carga previa. Con la carga previa de las bombas de trasiego de retorno se asegura una elevación suficientemente rápida de la presión en los frenos de ruedas incluso a temperaturas bajas. Para eliminar el aire en el líquido de frenos del circuito de carga previa y que los émbolos de la LKE puedan retroceder a la posición inicial después de desconectarse la bomba de carga previa, está previsto un conducto aparte, con un pequeño estrangulamiento, que va de la unidad de émbolos de carga hasta el depósito.

ALB (Honda)

El ALB (anti-lock-brake) para turismos con tracción delantera se basa en el principio del émbolo buzo. El amplificador de la fuerza de frenado y el ABS están separados estructuralmente.

Al frenar sin ABS la cámara A se une al recipiente ALB a través de la válvula de escape abierta (ver figura). La válvula de entrada cierra la conducción del acumulador de presión, de forma que en la cámara A se tiene la presión atmosférica. Si al frenar aumenta la presión en el cilindro de freno principal, fluye entonces líquido hidráulico de la cámara D a la cámara B: el pistón se desplaza hacia la izquierda y eleva la presión en la cámara C.

Si el par de frenado es demasiado grande y amenaza con bloquear una rueda, se cierra primero la válvula de salida, con lo que sube la presión en la cámara A y se evita el posterior movimiento del pistón hacia la izquierda. Si continúa el peligro de bloqueo, se abre la válvula de entrada y el liquido hidráulico entra a alta presión desde el acumulador de presión hacia la cámara A. Esta presión desplaza el pistón hacia la derecha, aumenta el volumen de la cámara C y disminuye así la presión en el cilindro de freno de rueda.

Cuando ya no hay peligro de bloqueo, se cierra la válvula de entrada y se mantiene así constante la presión de frenado en los cilindros de freno de rueda. Si aumenta de nuevo la aceleración de la rueda, se abre entonces la válvula de escape y la presión de frenado en el cilindro de freno de rueda vuelve a aumentar. El proceso de regulación del ALB se nota por una pulsación del pedal del freno.

El ALB de Honda es un sistema antibloqueo simplificado con dos canales de regulación. La rueda delantera con mayor coeficiente de arrastre de fuerza es la que determina el nivel de presión común de los frenos de ambas ruedas delanteras, de forma que en el frenado a fondo se bloquea, por lo general, una rueda delantera. Por lo tanto, la capacidad de dirección queda reducida a la mitad, porque la rueda delantera bloqueada no puede transmitir ninguna fuerza de guía lateral. Además, el bloqueo de la rueda puede provocar fuertes desgastes de neumáticos. La rueda trasera con menor coeficiente de arrastre de fuerza es la que determina la presión común de frenado de las dos ruedas traseras.

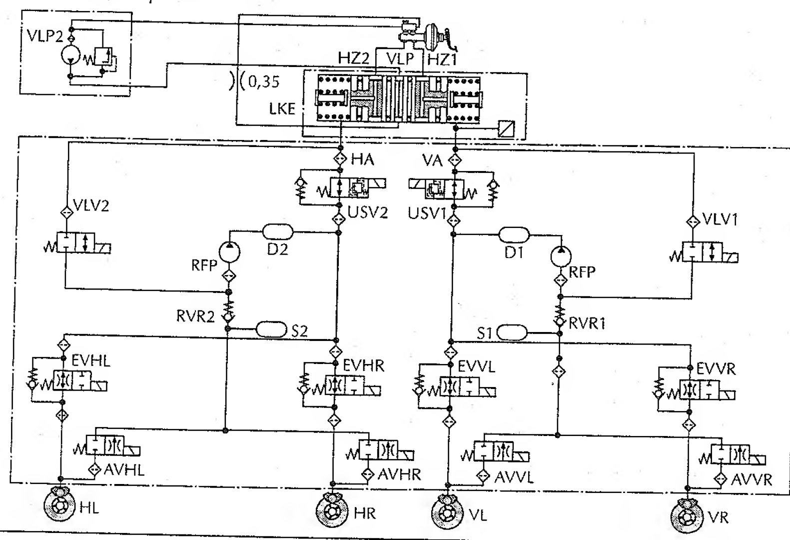
MK 2 (Teves)

Los componentes hidráulicos, el servo y el ABS van unidos formando un aparato compacto, fijo en el compartimiento del motor. En el frenado normal, sin que actúe el ABS, las válvulas de descarga están abiertas. El pistón del servo presiona contra el líquido de frenos de su cilindro y lo envía directamente a los frenos de las ruedas traseras y desplaza los pistones de los cilindros principales de freno hacia la izquierda, lo que hace entrar el líquido de freno a presión en los frenos de las ruedas delanteras.

Por ello se abre la válvula principal ya al iniciarse el frenado ABS. Ahora se une la cámara del freno asistido con el lado primario del pistón de cilindro principal de freno y se cierra la unión del lado primario con el depósito de reserva. De este modo fluye líquido de frenos de la cámara del servo a los frenos de las ruedas delanteras a través del canal de conducción y los retenes del pistón del cilindro principal de fre-

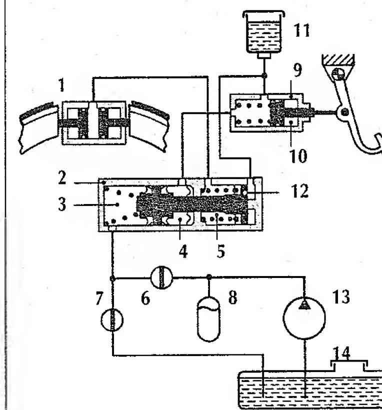
Sistema hidráulico de ABS y FDR

VLP *Bomba de carga previa,* VLV *Válvula de carga previa,* RFP *Bomba de trasiego de retorno,* RVR *Válvula de retención,* LKE *Unidad de émbolo de carga,* USV *Válvula de conmutación,* D *Amortiguador,* AV *Válvula de descarga,* EV *Válvula de admisión,* HZ *Cilindro principal,* S *Acumulador,* VA *Eje delantero,* HA *Eje trasero,* V *Delante,* H *Detrás,* R *Derecha,* L *Izquierda*



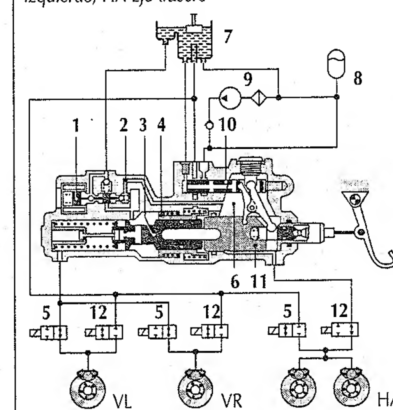
Esquema del ALB (Honda)

1 *Cilindro de freno de rueda,* **2** *Modulador,* **3** *Cámara A,* **4** *Cámara B,* **5** *Cámara C,* **6** *Válvula de entrada,* **7** *Válvula de escape,* **8** *Acumulador de presión,* **9** *Cilindro de freno principal,* **10** *Cámara D,* **11** *Depósito de suministro o resera,* **12** *Émbolo,* **13** *Bomba,* **14** *Depósito ALB*



Esquema del ABS MK 2(Teves). *Con el freno sin accionar*

1 *Válvula principal,* **2** *Canal de conducción,* **3** *Pistón del cilindro de freno principal,* **4** *Casquillo de posicionamiento,* **5** *Válvula de escape,* **6** *Cámara del servo,* **7** *Depósito de reserva,* **8** *Acumulador de presión,* **9** *Bomba,* **10** *Válvula de freno,* **11** *Pistón del servo,* **12** *Válvula de entrada,* VL/VR *Eje delantero derecho-izquierdo,* HA *Eje trasero*



no. Durante el frenado ABS la presión del servo actúa desde la izquierda sobre el casquillo posicionador, de forma que el cilindro principal de freno y el pistón del servo se quedan en una determinada posición: en caso de avería del ABS, queda todavía suficiente carrera de pistón para frenar las ruedas delanteras.

Mediante las válvulas de admisión y de descarga se regulan de forma óptima las presiones de frenado en frenados ABS, donde el líquido de frenos descargado desde el cilindro de la rueda fluye hacia el deposito de aprovisionamiento.

Los frenos de las ruedas delanteras se regulan por separado y los de las ruedas traseras conjuntamente, siendo la rueda con menor coeficiente de adherencia la que determina el nivel de presión común.

MK 4 con ASR (Teves)

Esta versión se utiliza como "ABS separado" en conjunto con el amplificador convencional de depresión. También es ampliable con una ASR.

Si se hace necesaria una reducción de presión en un freno de rueda al comenzar una regulación ABS, se abre la válvula de descarga con la válvula de admisión cerrada, de manera que desde el cilindro de freno de la rueda el líquido de frenos vuelve al depósito de aprovisionamiento. Si se abre la válvula de admisión para dar lugar a la formación de presión, entonces desde el cilindro principal vuelve a fluir líquido de frenos y el pedal baja algo. Sin trasiego posterior por el suministro hidráulico de energía, el pedal de freno bajaría de forma no admisible después de varios ciclos de regulación.

El suministro hidráulico de energía ABS se efectúa mediante una bomba de dos émbolos accionada a través de un doble circuito por un motor eléctrico que se pone en marcha al reconocerse una tendencia al bloqueo. Esta bomba, cuando se precisa elevar la presión, aspira líquido de frenos desde el depósito de aprovisionamiento y lo transporta, a través de la válvula abierta de admisión, al freno de la rueda.

La cantidad sobrante transportada fluye hacia los cilindros principales y presiona el pedal de freno hacia su posición inicial. El posicionador se encarga de la alternativa conexión o desconexión de la bomba, de tal forma que el flujo intermitente de trasiego de la bomba produce una posición y un movimiento del pedal suficientemente confortables.

La ampliación de la hidráulica para el funcionamiento ASR se efectúa mediante la anexión de dos válvulas electromagnéticas ASR, con cuya ayuda los cilindros principales quedan desconectados durante el funcionamiento ASR, así como también de las dos válvulas de limitación de presión que determinan la presión del sistema ASR.

El sensor de número de revoluciones sirve para la supervisión de la función del motor de la bomba, importante para la seguridad.

SCS (Lucas Girling)

El SCS (Stop Control System) para vehículos con tracción delantera es un sistema antibloqueo puramente mecánico, que prescinde de la electrónica y que sólo tiene dos canales de regulación. Dos unidades de modulación de presión regulan por separado las dos ruedas delanteras. Las traseras, en su caso, con disposición en diagonal, son reguladas hidráulicamente por medio de válvulas reductoras de presión. Para ello, las válvulas reductoras de presión están dispuestas de tal manera que en el frenado en línea recta, sobre calzadas homogéneas con adherencia constantemente igual se evita el bloqueo de las ruedas traseras, siempre que no ocurra ningún "Fading" (pérdida de la capacidad de frenado) en los frenos de las ruedas delanteras.

El eje delantero acciona el árbol por medio de una correa. El embrague y la guía de rampa de bolas están preparados de tal manera, que en un frenado normal el volante de impulsión gira de forma sincronizada con el árbol.

En el caso de peligro de bloqueo por una elevada desaceleración de la rueda, comienza el ciclo de regulación representado esquemáticamente. Si a causa de la gran desaceleración de la rueda, el volante de impulsión va más deprisa que el árbol, éste es desplazado axialmente por la guía de rampa de bolas y suelta el émbolo flotante (buzo) reduciendo la presión del freno. Tan pronto como el árbol y el volante de impulsión vuelven a girar sincronizados, este último se desplaza de nuevo axialmente hacia su posición inicial, con lo que puede a volver a producirse una formación de presión mediante el émbolo flotante.

ABS Addonix (Bendix)

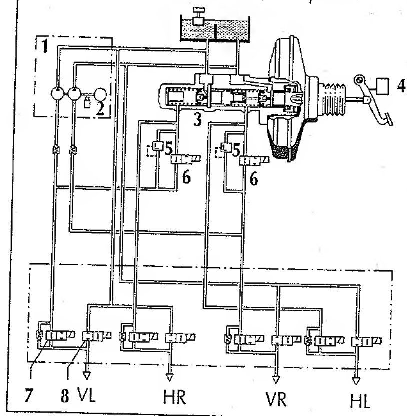
El ABS Addonix (add-on = ABS separado) trabaja según el principio del trasiego de retorno. El suministro de energía consta de una bomba de émbolos de los circuitos con motor eléctrico que transporta el líquido de frenos sobrante en la descarga de presión en los frenos de ruedas hacia los cilindros principales.

La válvula de admisión juntamente con la estrangulación origina la elevación rápida de la presión de frenado en el freno de la rueda durante el funcionamiento de frenado parcial, así como también (a válvula de admisión cerrada) un incremento lento de la presión del freno durante el funcionamiento como ABS. Mediante la válvula de descarga puede reducirse la presión del freno de rueda, volviendo el líquido de frenos a través de la cámara de acumulación hacia la bomba de trasiego de retorno.

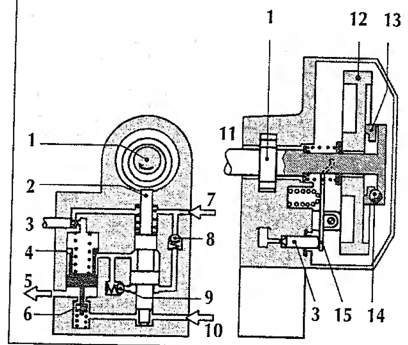
Con esta combinación de válvula de admisión, válvula de descarga y estrangulamiento no se pueden realizar fases de mantenimiento de la presión de frenado, sino solamente el desarrollo de la presión de frenado en forma de dientes de sierra con fases de incremento y de reducción.

Para la regulación de las presiones de frenado en las ruedas traseras sólo están previstas válvulas de conmutación. En este caso no es posible una velocidad distinta de variación de la presión para frenado normal o funcionamiento de ABS.

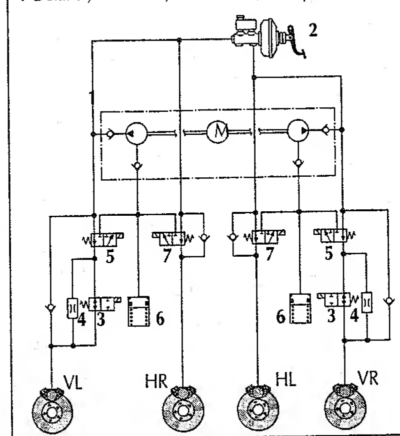
Esquema del ABS/ASR MK 4 *(Teves)*
1 Aprovisionamiento de energía, 2 Sensor de número de revoluciones, 3 Émbolo del cilindro principal, 4 Posicionador, 5 Válvulas de limitación de presión, 6 Válvulas electromagnéticas ASR, 7 Válvula de admisión, 8 Válvula de descarga
V Delante, H Detrás, R Derecha, L Izquierda



Esquema del conjunto modulador de presión del SCS *(Lucas Girling)*
1 Excéntrica, 2 Émbolo de la bomba, 3 Válvula de descarga, 4 Émbolo flotante, 5 A los frenos de las ruedas, 6 Válvula de cierre, 7 Desde el deposito de aprovisionamiento, 8 Válvula de admisión de la bomba, 9 Válvula de descarga de la válvula, 10 Desde el cilindro principal, 11 Árbol, 12 Volante de inercia, 13 Embrague, 14 Guía de la rampa de bolas, 15 Palanca



Esquema del ABS Addonix *(Bendix)*
1 Suministro de energía, 2 Cilindro principal, 3 Válvula de admisión, 4 Estrangulamiento, 5 Válvula de descarga, 6 Cámara de acumulación, 7 Válvula de conmutación
V Delante, H Detrás, R Derecha, L Izquierda



Componentes del ABS (Bosch)

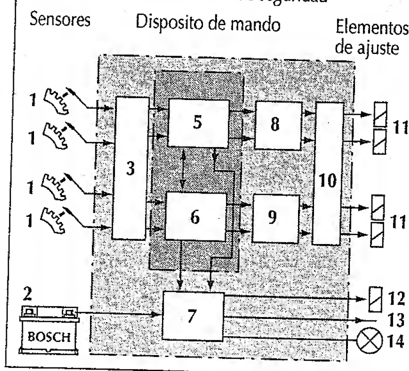
Sensor de número de revoluciones
El sensor inductivo del número de revoluciones comunica la velocidad de la rueda al dispositivo de mando.

Dispositivo de mando con grandes circuitos específicos del vehículo
El dispositivo de mando, representado en el esquema de bloques, es una instalación de 4 canales que recibe, filtra y amplifica las señales de los sensores del número de revoluciones y determina así el resbalamiento de frenado y la aceleración de las diferentes ruedas.

Conexión de entrada:
La conmutación de entrada consta de un filtro pasobajo y de un amplificador de entrada para la supresión de interferencias y la amplificación de todas las señales del sensor de número de vueltas (canales 1 a 4).

Regulador digital:
El regulador digital de dos circuitos grandes, independientes entre sí, digitales y específicos del vehículo, que en cada caso procesan paralelamente las informaciones de dos ruedas (canales 1 + 2 o 3 + 4) y realizan los procesos lógicos. Un calculador serial conectado a continuación calcula de la frecuencia de la rueda procesada previamente de esta forma las magnitudes de regulación "resbalamiento de la rueda" y "desaceleración o aceleración tangencial de la rueda". Una lógica compleja del regulador (adaptable en sus funciones cambiantes) transforma las señales de regulación en órdenes de posicionamiento para válvulas electromagnéticas. Un punto de interfase serial, comunicado mediante transmisión de datos con la fase de entrada, el calculador y la lógica de regulación, sirve de comunicación entre los dos circuitos grandes.

Un ulterior bloque de funciones abarca la conexión de supervisión para la detección y evaluación de fallos. Una luz de seguridad indica al conductor que el dispositivo de mando, y con ello el ABS, están fuera de servicio. Después de la desconexión del ABS, no obstante, el freno de servicio mantiene su plena capacidad de funcionamiento.



Dispositivo de mando (instalación de 4 canales)
1 Sensor de número de revoluciones, **2** Batería, **3** Conexión de entrada, **4** Regulador digital, **5** Circuito grande de 1, **6** Circuito grande 2, **7** Estabilizador de tensión/memoria de fallos, **8** Conexión de salida 1, **9** Conexión de salida 2, **10** Paso final, **11** Válvulas electromagnéticas, **12** Relés de seguridad, **13** Tensión estabilizada de batería, **14** Luz de indicación de seguridad

Conexiones de salida:
Las dos conexiones de salida actúan como reguladores de corriente para los canales 1 + 2 o 3 + 4 y reciben, desde los dos circuitos grandes, las órdenes de posicionamiento para la excitación de las válvulas electromagnéticas.

Paso final:
El paso final regula, influenciado por los reguladores de corriente en las dos conexiones de salida, las corrientes necesarias en su caso para la excitación de las válvulas electromagnéticas.

Estabilizador de tensión, memoria de fallos:
Este bloque de funciones sirve para la estabilización de la tensión de alimentación y la supervisión de esta tensión con respecto a limites admitidos de tolerancias; contiene además un reconocimiento de tensión insuficiente y una desconexión en el caso de una tensión de a bordo demasiado baja, una memoria de fallos y un conmutador para la luz de indicación de seguridad.

Dispositivo de mando con microprocesadores
Este dispositivo de mando posee dos microprocesadores, en vez de los dos grandes circuitos, para efectuar el procesamiento previo de las señales, llevar a cabo la realización del programa y encargarse de la autovigilancia del ABS. El dispositivo de mando efectúa un diagnóstico según norma ISO, la cual permite localizar eventuales fallos del ABS o mediante una luz de indicación de seguridad o con un dispositivo de comprobación "inteligente".

Dispositivo hidráulico (para ABS2S y ABS5 con distribución de circuitos de frenos X)
El dispositivo consta, por cada circuito de frenos, de lo siguiente:
- Bomba de trasiego de retorno P accionada por un motor eléctrico,
- Cámara de acumulación S,
- Cámara de amortiguación D y
- Diversas válvulas electromagnéticas.

Bomba de trasiego de retorno P:
Esta bomba transporta el líquido de frenos, que fluye de los cilindros en las ruedas al reducirse la presión, de nuevo hacia el cilindro principal.

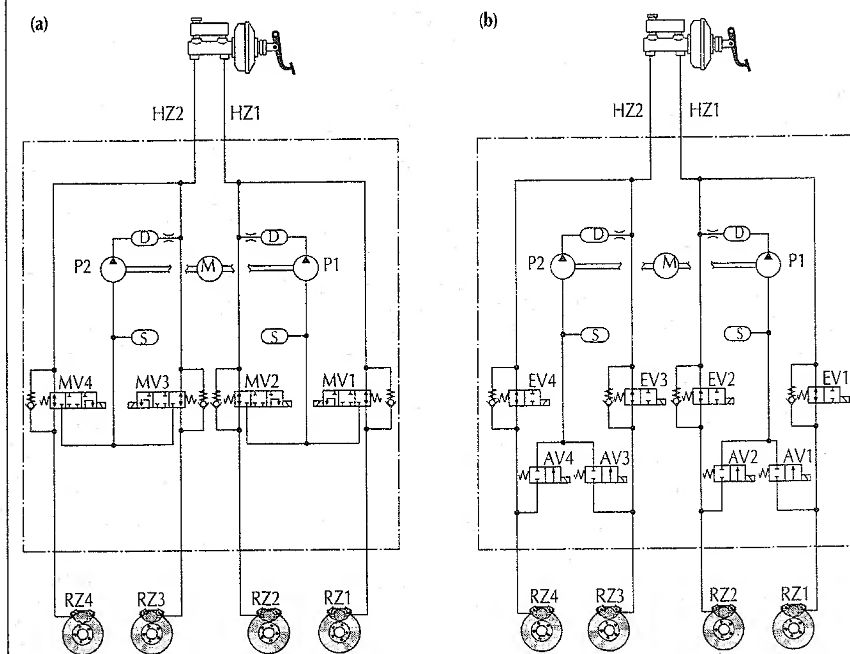
Acumulador S:
Las cámaras de acumulación sirven para recibir transitoriamente la gran cantidad de líquido de frenos que se presenta en la disminución de la presión.

Cámara de amortiguación D:
Los amortiguadores con los estrangulamientos conectados a continuación sirven para igualar las fuertes pulsaciones de la presión del bombeo de retorno hacia el cilindro principal, garantizando así un alto "confort de ruidos".

Válvulas electromagnéticas MV 3/3 en ABS2S:
A cada rueda se le asigna una válvula magnética 3/3, para efectuar la modulación de la presión durante la regulación ABS. La modulación consta de 3 estados (formación, mantenimiento, reducción).

Válvulas electromagnéticas EV, AV 2/2 en ABS5:
A cada rueda se le asigna un par de válvulas EV/AV. Mediante la regulación correspondiente de las válvulas se pueden producir también con ellas los tres estados de modulación indicados arriba.

Esquema del dispositivo hidráulico
(**a**) *Cuadro del sistema ABS2S,* (**b**) *Cuadro del sistema ABS5*
HZ cilindro principal, M motor eléctrico, P bomba de émbolos, D amortiguador, S acumulador de volumen, MV válvula electromagnética 3/3, EV válvulas de admisión 2/2, AV válvulas de descarga 2/2, RZ cilindro de rueda



Instalaciones de frenos para vehículos industriales de un peso total superior a 7,5 t

Sistemática y configuración

En su mayoría las instalaciones de frenos de fuerza auxiliar para vehículos industriales medianos y pesados trabajan con

- Aire comprimido (nivel normal de presión) como medio para la transmisión y la transferencia de energía de las instalaciones,
- Transmisión neumática/hidráulica de fuerzas en la instalación del freno de servicio y con transmisión neumática de fuerzas en la instalación del freno de estacionamiento o
- Con nivel de alta presión neumática (figuras B, C).

Instalación de freno de servicio para vehículos tractores

En vehículos industriales medianos y pesados no basta con la fuerza del pie del conductor para obtener una desaceleración de frenado suficiente para el funcionamiento normal en la práctica. Por ello se emplean preferentemente instalaciones de aire comprimido, que lo utilizan como energía acumulada para el accionamiento del freno de servicio. Unos cilindros de membrana o de émbolos producen las fuerzas de apriete en los frenos de las ruedas. De forma creciente se utilizan instalaciones de frenos "air-over-hydraulic", puesto que la presión del aire tiene que ser transformada en presión hidráulica mediante amplificadores de fuerza de frenado, dispositivos compactos de frenos, o cilindros de apriete previo para el accionamiento de los frenos de las ruedas.

Una instalación moderna de doble circuito de frenado con aire comprimido con conexión de frenado del remolque, acumulador de muelle, instalaciones de frenos auxiliar y de estacionamiento, consta de los siguientes componentes principales:

- Suministro de energía,
- Reserva,
- Válvulas de frenos,
- Regulación de la fuerza de frenado,
- Frenos de las ruedas así como también
- Mando y aprovisionamiento de la instalación de frenos para vehículos con remolque (figura D).

El suministro de energía consta de compresor y regulador de presión (presión de servicio aprox. 8 bar) a los que pueden agregarse, según el caso, protectores contra la congelación, deshidratación automática, filtros de aire, secadores del aire y acumuladores intermedios que se encargan de purificar y secar el aire.

Es recomendable instalar compresores de aire notablemente más potentes que los p.ej. estipulados en las normas EC/CEE, porque en los vehículos industriales modernos puede haber gran número de dispositivos adicionales consumidores de aire comprimido tanto en los vehículos de tracción como en los remolques.

En el punto de intersección entre el suministro de energía y la reserva se encuentra la válvula de protección de cuatro circuitos, la cual sirve para el aseguramiento de la continuidad de suministro a los distintos circuitos de frenos así como también a los consumidores auxiliares con preferencia en caso de fallos.

El dispositivo de accionamiento del freno de servicio comienza en el pedal de freno y termina en los componentes accionados mecánicamente de la válvula de doble circuito.

Las condiciones de espacio en los vehículos industriales a veces hacen necesaria la incorporación de la válvula de freno en el bastidor detrás de la cabina del conductor, y no dentro de la cabina (volcable) del conductor. La problemática de los camiones con conducción a la izquierda o a la derecha, se resuelve con una misma posición de la válvula de freno en el bastidor, mediante un dispositivo hidráulico de transferencia de doble circuito para el dispositivo de accionamiento de la instalación de frenos. En ello un dispositivo eléctrico de alarma vigila el nivel del líquido en los depósitos de compensación de ambos circuitos.

Los dispositivos auxiliares de la instalación de frenos de vehículos de tracción para remolques/semirremolques con instalaciones de frenos neumáticos (ver "Componentes básicos de una instalación de frenos") ayudan a la alimentación del aire necesario en dichos remolques/semirremolques y de regular en relación con la acción de frenado (válvula de mando del remolque, cabezales de acoplamiento, etc.)

Instalación de frenos para vehículos con remolque

Las instalaciones de frenos de los vehículos de tracción se pueden subdividir, según sea el número de las conducciones de unión hacia el remolque/semirremolque, en instalaciones de una, dos o más conducciones.

En instalaciones antiguas de una conducción (figura E), ésta se encarga de llenar el acumulador de energía así como también del accionamiento de los frenos en las ruedas del remolque a través de una válvula de freno del remolque. Durante la marcha hay presión en los conductos. Para frenar se descarga presión. También en una separación involuntaria del remolque se escapa aire del conducto, asegurándose el frenado automático del remolque. Si en un proceso prolongado de frenado por una pendiente aparece una fuga, bajan la presión en el acumulador de energía y la capacidad de frenado; la capacidad de frenado se puede agotar. La instalación de frenado de una sola conducción, según las directivas EC/CEE, ya no es admitida en vehículos nuevos.

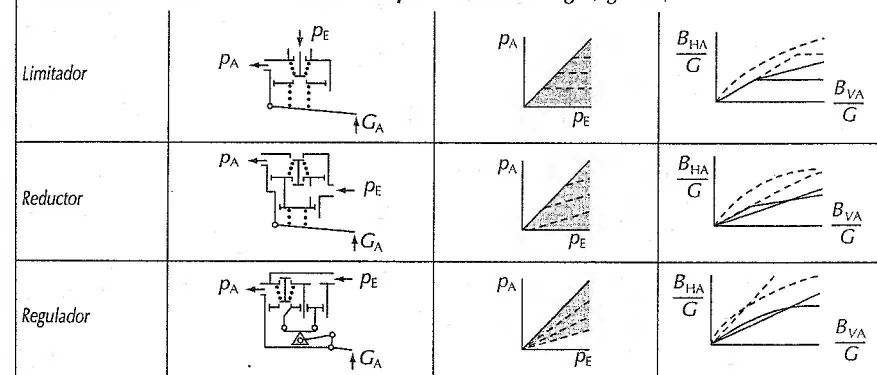
En una instalación de frenos de dos conductos, como ejecución estándar europea, uno de ellos (el de reserva) comunica los acumuladores de energía del vehículo de tracción y del remolque/semirremolque; está siempre bajo presión. La segunda conducción (la de frenado) va de la válvula de regulación del remolque en el vehículo de tracción hasta la válvula de freno en el remolque/semirremolque (figura F). El frenado se efectúa por elevación de la presión. La operación de frenado automático en el caso de separación involuntaria del remolque, en este sistema la lleva a cabo la conducción de reserva. De ella escapa aire en el caso de rotura o desconexión y la válvula de freno del remolque/semirremolque acciona los frenos. Mediante la ayuda de una válvula de regulación del remolque de doble circuito y de la válvula de protección de cuatro circuitos son posibles la regulación y el suministro de aire para el remolque/semirremolque, incluso cuando en el vehículo de tracción haya fallado uno de los dos circuitos de la instalación de frenos. Los cabezales normalizados de acoplamiento para "reserva" y "freno" están equipados con un elemento automático de cierre se abre al acoplarlos.

En las instalaciones de frenos de tres conducciones, usuales en Francia y Gran Bretaña, la tercera conducción transmite la presión de freno a la instalación auxiliar de frenos en el remolque/semirremolque.

Distribución de la fuerza de frenado en dependencia de la carga

La regulación automática de la fuerza de frenado dependiente de la carga (ALB) es un equipo imprescindible para el dispositivo de trasferencia de la instalación de frenos en vehículos industriales. Unas válvulas de distribución de la fuerza de frena-

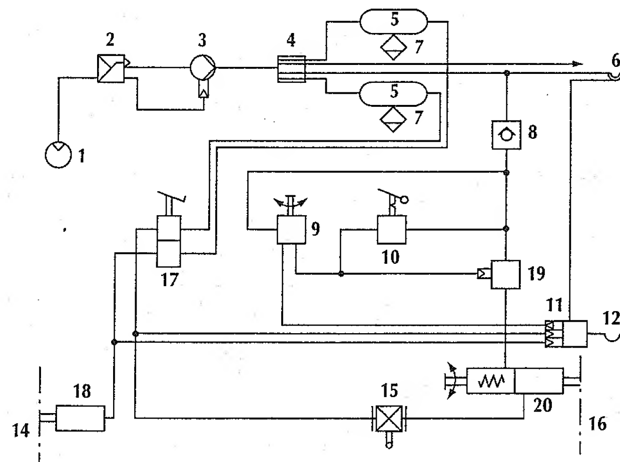
Distribuidores de la fuerza de frenado en dependencia de la carga (figura A)



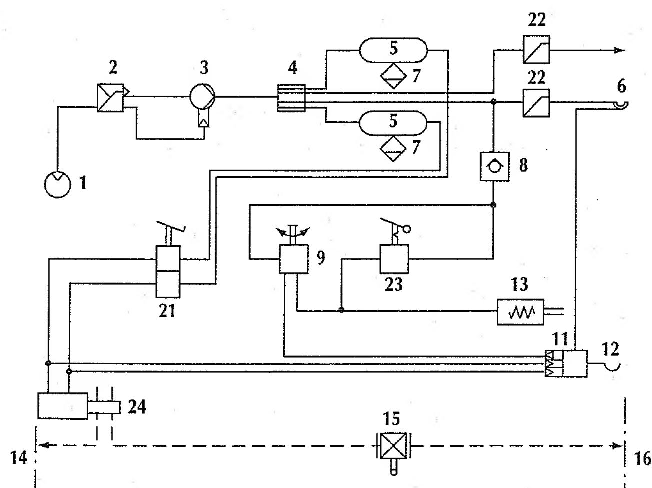
Instalaciones de frenos de aire comprimido para camiones

1 *Compresor,*
2 *Regulador de presión,*
3 *Bomba de anticongelante,*
4 *Válvula de protección de cuatro circuitos,*
5 *Deposito de aire,*
6 *Cabezal de acoplamiento con elemento automático de cierre,*
7 *Válvula de purga de agua,*
8 *Válvula de retención,*
9 *Válvula de comprobación,*
10 *Válvula del freno de estacionamiento,*
11 *Válvula de regulación del remolque,*
12 *Cabezal de acoplamiento sin elemento de cierre,*
13 *Cilindro acumulador de muelle,*
14 *Eje delantero,*
15 *Regulación automática de la fuerza de frenado en dependencia de la carga (ALB),*
16 *Eje trasero,*
17 *Válvula del freno de servicio,*
18 *Cilindro de freno,*
19 *Válvula de relé,*
20 *Cilindro combinado de frenos,*
21 *Válvula del freno de servicio con limitador de presión,*
22 *Válvula de limitación de la presión,*
23 *Válvula del freno de estacionamiento con limitación de la presión,*
24 *Cilindro de fuerza previa de doble circuito,*
25 *Manómetro doble,*
26 *Válvula de protección de doble circuito,*
27 *Instalación de freno de estacionamiento,*
28 *Válvula de freno del remolque,*
29 *Válvula de carga/vacío,*
30 *Consumidores secundarios (p. ej. frenos del motor)*

Instalación de frenos de doble circuito, dos conducciones y fuerza auxiliar con dispositivo neumático de trasferencia *(figura B)*

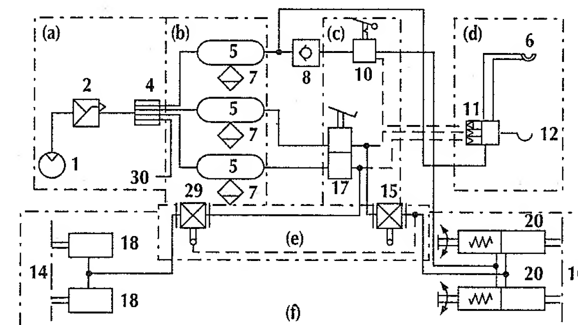


Instalación de frenos de doble circuito, de dos conducciones y de fuerza auxiliar (instalación de frenos "air-over-hydraulic") con dispositivo hidráulico de trasferencia *(figura C)*

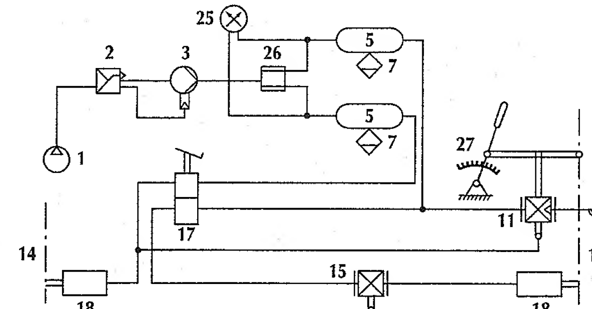


Componentes principales de una instalación moderna de frenos de aire comprimido y de fuerza auxiliar *(figura D)*

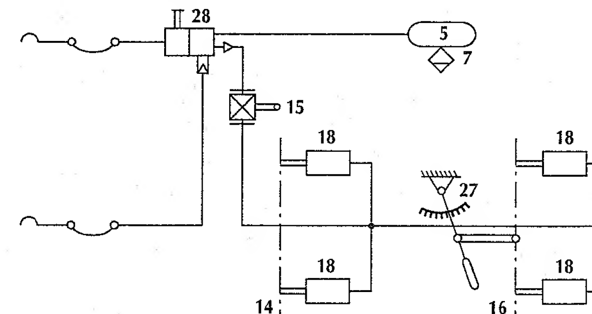
(a) *Abastecimiento de energía,* **(b)** *Reserva,* **(c)** *Válvula de freno,* **(d)** *Remolque-Mando-Alimentación,* **(e)** *Regulación fuerza frenado,* **(f)** *Frenos de ruedas*



Instalación de frenos de fuerza auxiliar de doble circuito y de una conducción *(figura E)*



Instalación de frenos de dos conducciones para remolque/semirremolque *(figura F)*

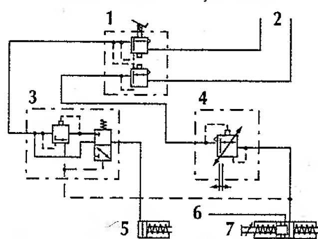


do hacen posible la adaptación a las variaciones de carga en los ejes en vehículos parcialmente cargados o vacíos (p.ej. mediante la detección por sensores del recorrido del muelle de suspensión del eje) y con la corrección de la distribución de la fuerza de frenado en los ejes de un vehículo suelto ("distribución de fuerza de frenado por pandeo en función de la carga") o un nivel determinado de frenado (importante para vehículos en funcionamiento con remolques/semirremolques). Existen tres tipos de válvulas para la distribución de la fuerza de frenado (figura A):

1.- Limitadores de la fuerza de frenado
Un limitador de la fuerza de frenado evita, a partir de un "punto de conmutación", el incremento de la fuerza de frenado (p.ej. en el eje posterior), es decir que la distribución de la fuerza de frenado sufre un "pandeo" hacia abajo.

2.- Reductores de la fuerza de frenado
Incluso en el caso más desfavorable de carga, los reductores de la fuerza de frenado hacen posible que la fuerza de frenado se aproxime a la parábola de la distribución dinámica (ideal) (véase "concepción de una instalación de frenos"). En el intervalo posterior al punto de conmutación las fuerzas de frenado en el eje afectado están reducidas con respecto a la distribución inicial de las mismas. Además, la distribución instalada de las fuerzas de frenado depende de la relación de transmisión y de la presión de conmutación (ésta a su vez de la carga sobre el eje) de la válvula de distribución de la fuerza de frenado.

Esquema de funcionamiento del ALB para vehículos de dos ejes *(figura G)*
1 *Válvula de servicio,* **2** *Desde la alimentación de presión,* **3** *Válvula vacío/carga (eje delantero),* **4** *Válvula ALB (eje trasero),* **5** *Desde el freno de estacionamiento,* **6** *Cilindro de membrana (eje delantero),* **7** *Cilindro combinado de frenos (eje trasero)*



3.- Reguladores de la fuerza de frenado
Los reguladores de la fuerza de frenado, es decir los reductores de la fuerza de frenado dependientes de la carga sobre el eje y con punto de conmutación en el origen de coordenadas del diagrama de distribución de fuerzas de frenado, son dispositivos muy complejos que se utilizan sólo en casos muy especiales. Regulan una distribución de fuerzas de frenado óptima incluso en situaciones muy desfavorables de carga.

Observaciones fundamentales sobre la distribución de fuerzas de frenado con doblez
Los distribuidores de fuerza de frenado en función de la carga ajustan la instalación a la distribución dinámica (ideal) y evitan el bloqueo prematuro de las ruedas de un eje. Por supuesto que, con coeficientes de adherencia bajos y ejes traseros con poca carga, pueden bloquear las ruedas dado que punto de conmutación del distribuidor de fuerzas de frenado puede quedar en tal caso en la zona inestable de éste si aparecen además un par de freno motor alto (par de freno retardador), variaciones de la tolerancia del distribuidor y/o elevadas variaciones del valor nominal en los frenos de las ruedas.

Solamente mediante una amplia optimización de la distribución de la fuerza de frenado en dependencia de la carga se puede realizar una instalación de frenos que trabaje de forma precisa bajo todas las condiciones de frenado. Los vehículos industriales con diferencias extremadamente grandes de carga entre ir vacío y cargado, precisan instalaciones automáticas de regulación de la fuerza de frenado en función de la carga (ALB) en el eje posterior y válvulas de vacío/carga (para aumentar el campo de trabajo de la ALB, figura G).

Frenos de ruedas

En los vehículos industriales medianos y pesados en el futuro se utilizarán cada vez más los frenos de disco (por lo menos en los ejes delanteros de los vehículos de tracción). Actualmente todavía predominan los frenos de tambor.

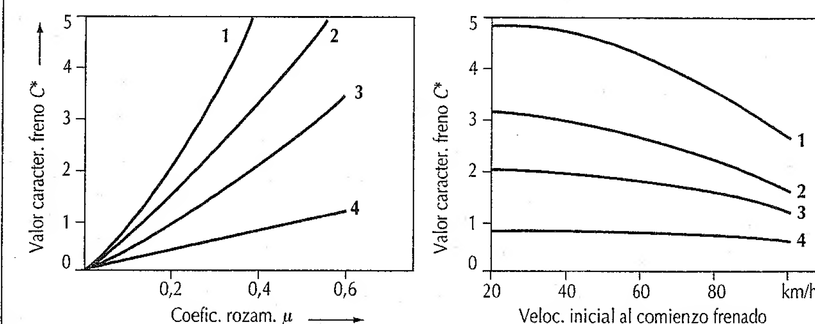
El valor característico de freno C^* como criterio de evaluación de la capacidad de potencia de los frenos da la relación entre fuerza de frenado y tensado del freno. Este valor comprende la influencia de la relación interna de transmisión del freno así como también el coeficiente de fricción, el cual a su vez depende principalmente de los parámetros velocidad, presión de freno y temperatura (figura H).

Frenos de tambor
Las formas constructivas de los frenos de tambor son el resultado de considerar el comportamiento en relación con la fuerza, la sujeción y el reajuste posterior de las zapatas de freno.

Frenos de tambor Simplex (figura I): Los frenos de tambor Simplex se diferencian entre sí especialmente por la fuerza de aprieto (flotante, fija) y la sujeción (mordazas giratorias, mordazas deslizantes). Están muy extendidos los frenos de rueda con fuerza de aprieto flotante y sujeción con mordazas giratorias. La fuerza de aprieto es el resultado de activar la fuerza hidráulica del freno presionando los émbolos de presión flotantes, dispuestos sin fijación del recorrido de desplazamiento, y que producen fuerzas de igual magnitud en ambos sentidos. Una mordaza de freno es de entrada cuando la fuerza de rozamiento entre la mordaza y el tambor se suma a la fuerza de aprieto y es de salida cuando esa fuerza de rozamiento actúa contra la fuerza de aprieto.

En los frenos Simplex se obtiene C^* de la suma de los valores de cada una de las mordazas y asciende a $C^* \approx 2{,}0$ (con referencia a un coeficiente de rozamiento $\mu = 0{,}38$). El inconveniente es la gran diferencia de acción de frenado de las dos mordazas y el mayor desgaste resultante de ello en la guarnición de la mordaza de entrada. Por esta razón la mordaza de salida se recubre frecuentemente con una guarnición mucho más delgada que la mordaza de entrada.

Valor característico del freno en función del coeficiente de rozamiento (izquierda) y de la velocidad inicial (derecha)
1 *Servofreno de tambor "Duo",* **2** *Freno de tambor "Duplex",* **3** *Freno de tambor "Simplex",* **4** *Freno de discos*



Frenos de tambor "Simplex"

Tipo	Mordaza giratoria	Leva	Leva en S
Representación del principio			
Valor caract.	$C^* = C_1 + C_2$		$C^* = 4/(1/C_1 + 1/C_2)$
Mordazas de freno	1 Mordaza de entrada; 2 Mordaza de salida		

Otra posibilidad de activar un freno de tambor Simplex es la regulación por medio de un calce (con mecanismo integrado de ajuste posterior), que se ha impuesto sobre todo en vehículos industriales ligeros y medianos con frenos neumáticos (figura I, L).

El freno de rueda más utilizado en vehículos industriales pesados es el freno neumático de tambor Simplex con levas en S con tensión fija de aprieto (figura K).

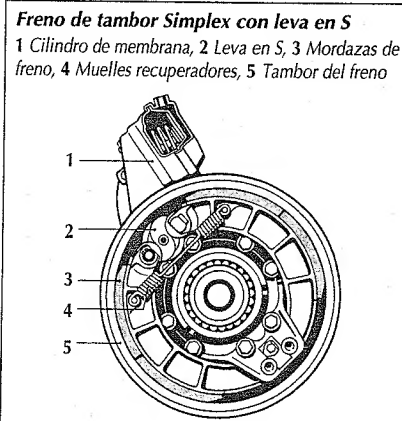
Ventajas:

– Igual desgaste de la guarnición en la mordaza de entrada que en la de salida, obtenido por la tensión fija,
– Largos tiempos de duración de la guarnición,
– Mecanismos de fuerza de aprieto sencillos, seguros e independientes del calor, a través del cilindro de membrana, posicionador del varillaje automático, eje del freno y leva en S,
– Poca variación del valor característico del freno C^*,
– Elaboración sencilla de la instalación de freno de estacionamiento mediante acumuladores de muelle,
– Posibilidad precisa de ajuste posterior mediante posicionador automático de varillaje.

Inconvenientes:

– Elevadas fuerzas internas y por ello construcción relativamente pesada, porque se presentan fuerzas desiguales en las levas y por ello elevadas fuerzas libres en los apoyos,

Freno de tambor Simplex con leva en S
1 Cilindro de membrana, 2 Leva en S, 3 Mordazas de freno, 4 Muelles recuperadores, 5 Tambor del freno



– Valor característico de freno C^* relativamente pequeño, lo cual significa un elevado trabajo de aprieto durante el frenado.
– A consecuencia de los trayectos de aprieto aproximadamente iguales para la mordaza de entrada que para la de salida, las fuerzas de aprieto se comportan inversamente a los valores característicos de las mordazas individuales,
– El valor característico de freno C^*, a igualdad de coeficiente de rozamiento, es algo menor en comparación con los frenos Simplex con aprieto hidráulico o neumático.

<u>Frenos de tambor "Duo-Duplex"</u>: encuentra ya muy poca aplicación (por ejemplo con regulación por calce) con dos mordazas de entrada (figura L).

Las características de estos frenos son la fuerza de aprieto flotante y el soporte necesario para las mordazas deslizantes. Una ventaja es el desgaste por igual de la guarnición en ambas mordazas, y la mayor relación de transformación interna en comparación con los frenos Simplex. Con dos mordazas de entrada se consiguen valores característicos de $C^* \approx 3{,}0$ que, sin embargo, debido a la disminución del frenado por calentamiento y abrasión, no se puede mantener constante mucho tiempo.

<u>Servofrenos de tambor "Duo"</u>: Los servofrenos "Duo" tuvieron en el pasado gran aplicación en los vehículos industriales ligeros (especialmente en los ejes traseros). La característica importante es que tanto en marcha hacia adelante como en marcha hacia atrás, actúan por igual y la fuerza de sujeción de la mordaza primaria se utiliza como fuerza tensora de la mordaza secundaria. El valor característico se sitúa en $C^* \approx 5{,}0$.

La razón de la amplia difusión del servofreno "Duo"es que por sus elevados valores característicos se puede instalar en camionetas y camiones de hasta 7,5 t como instalación de frenos por depresión de fuerza auxiliar. Al mismo tiempo la instalación de freno de estacionamiento alcanza todavía pares de frenado importantes al ser accionada manualmente. Sin embargo, con solicitaciones térmicas, se presentan fuertes fluctuaciones del valor característico, lo que limita las posibilidades de su utilización y precisa de una distribución bien ajustada para cada vehículo de la distribución de la fuerza de los frenos. En los futuros sistemas de frenos de ruedas, los frenos de tambor Duo-Duplex sólo tendrán muy poca importancia para los sistemas de frenos de servicio.

<u>Frenos de disco</u>

Aparte de su utilización en autocares rápidos, los frenos de disco se utilizan predominantemente en los ejes delanteros de vehículos industriales medianos y pesados.

Ventajas respecto al freno de tambor:

– Mejor capacidad de regulación progresiva de la acción de frenado;
– Con un dimensionado correcto para soportar la carga calorífica se logra un desgaste por igual de las pastillas por ambos lados del disco;
– menor tendencia a ruidos de frenado;
– mantenimiento del valor característico relativamente constante, con poca tendencia a la pérdida de la fuerza de frenado por calor y abrasión.

Inconvenientes:

– Duración menor de guarniciones de frenos,
– Costes mayores de adquisición y de servicio (en comparación con los frenos de tambor).

Las frenadas de adaptación a grandes velocidades de las autopistas se hacen, por lo general, mejor con frenos de disco, con menos pérdida de fuerza por calentamiento y menos tendencia a la formación de grietas en los discos que en los tambores de freno. El valor característico de frenado se sitúa en $C^* \approx 0{,}76$, referido al valor básico de $\mu = 0{,}38$.

En vez de los frenos de disco de montura fija empleados principalmente hasta ahora, se van introduciendo cada vez más los frenos de disco de montura flotante. Decisivo para esto son las tendencias hacia frenos más baratos y ligeros y con mayor resistencia al calentamiento. La montura queda libre del par de frenado, lo que resulta positivo en la regulación y constancia de la acción de los frenos.

Ajuste posterior automático de los frenos de ruedas

Con el desgaste de las zapatas de freno aumenta el huelgo entre la guarnición y el tambor de freno y con éste, a su vez, el recorrido de frenado. Si dicho huelgo no es ajustado debidamente, podría suceder en un caso extremo que el recorrido del émbolo del freno llegara a ser tan grande, que ya no podría obtenerse el efecto de frenado. El ajuste automático de regreso a la posición de huelgo correcto se produce al soltar el freno de la rueda.

Durante un frenado, el recorrido necesario del émbolo en el cilindro del freno, para cruzar el huelgo, se puede subdividir en tres tramos:

– Huelgo predeterminado entre guarnición de freno y el tambor/disco de freno,
– Huelgo por desgaste de guarnición,

Frenos de tambor Duo y freno de disco (figura L)

Tipo	**Duo-Duplex** Calce	**Duo-Servo** Reglaje por fuerza	**Freno de disco**
Representación del principio	1 2	1 2	
Valor característico	$C^* = C_1 + C_2$	$C^* = C_1 + C_2(k_1 + k_2 \cdot C_1)$	$C^* = 2 \cdot \mu$
Mordazas de freno	1 Mordaza de entrada; 2 Mordaza de salida		–

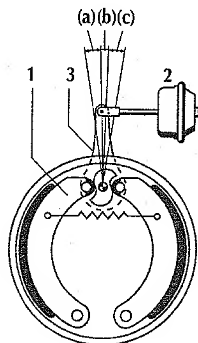
– Huelgo que depende de la elasticidad del disco/tambor de freno y de las guarniciones de freno así como también de la transmisión de fuerzas entre cilindro de freno y freno de la rueda ("recorrido de elasticidad").
Un posicionador de varillaje se encarga automáticamente del ajuste posterior requerido (figura M).

Instalación de freno de estacionamiento
Las instalaciones de freno de acumulador de muelle, usuales en vehículos industriales de más de 7,5 t de peso total, son una versión cómoda de freno de estacionamiento y de freno auxiliar. Para ello se combinan entre sí el cilindro de freno de acumulador de muelle de la instalación del freno de estacionamiento, con sistema de freno exclusivamente de aire comprimido, y el cilindro de membrana de la instalación del freno de servicio.

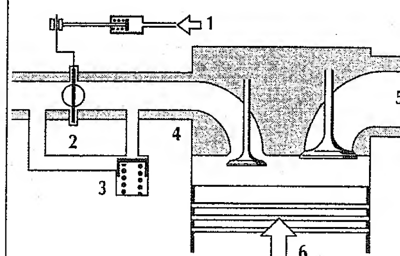
En posición suelta la válvula de protección de cuatro circuitos y la válvula del freno de estacionamiento comunican el depósito de reserva del freno de servicio con el compartimiento de compresión de muelle, manteniendo así tensado el muelle. En esta serie de dispositivos, en el caso de vehículos con conexión para el sistema de frenos del remolque/semirremolque, se monta además un depósito intermedio de amortiguación. Accionando la válvula del freno de mano se reduce la presión en el compartimiento de compresión. Así, primeramente se produce un frenado parcial, y al seguir accionando, otra reducción de la presión a la del ambiente y así el frenado completo del acumulador de muelle (frenado auxiliar). Un ulterior accionamiento fija una posición determinada de "aparcamiento". Con la ayuda de otra posición de la palanca de mano se puede frenar solamente el vehículo de tracción y no todo el tren. Aparte de esta posición de comprobación del freno de estacionamiento en funcionamiento para trenes, la legislación EC/ECE exige un acopio asegurado de aire, el accionamiento y soltado durante nueve veces con la reserva de energía, un dispositivo de alarma que indica que el acumulador de muelle comienza a funcionar y un dispositivo auxiliar de soltado.

Instalaciones de freno continuo
Los frenos de las ruedas utilizados en los turismos y los vehículos industriales no están previstos para un funcionamiento continuo. Si se aplican durante largo tiempo, por ejemplo, al bajar pendientes, se puede presentar en ellos una sobrecarga térmica que disminuye el rendimiento de los frenos ("Fading"). En casos extremos puede llegar a fallar del todo la instalación. Especialmente en vehículos de elevado peso total, para la aplicación continuada al bajar pendientes, llevan incorporado frecuentemente un freno continuo exento de desgaste, independiente de los frenos de las ruedas.

***Huelgo en frenos** (figura M)*
(a) Por elasticidad, (b) Por desgaste, (c) Constructivo.
1 Zapata de freno, 2 Cilindro de membrana, 3 Posicionador automático de varillaje



***Freno de tubo de escape con válvula adicional de regulación de presión** (figura N)*
1 Accionamiento de la válvula del tubo de escape (aire comprimido), 2 Desviación, 3 Válvula de regulación de la presión, 4 Descarga, 5 Admisión, 6 Émbolo (4° ciclo de trabajo)



Esta instalación también se utiliza para frenados de adaptación. Así se reduce el desgaste de las guarniciones y se mejora el confort de frenado. En los vehículos industriales se utilizan principalmente dos tipos de frenos continuos.

1.- Sistema de freno del motor
La potencia de frenado del motor se compone de la potencia de arrastre y de la potencia de frenado (causada por el estrangulamiento del flujo de gases de escape en el ciclo de expulsión de gases). La potencia de arrastre de los motores de serie es, específica de la cilindrada, de 5 a 7 kW/l. En contraste con esto, los motores de serie con freno del motor convencional (freno de "válvula de tubo de escape") alcanzan los 14 a 20 kW/l. Un ulterior incremento de la potencia de frenado del motor sólo es posible con construcciones adicionales. Los frenos del motor de descompresión (p.ej. "C-Brake", "Jake-Brake", "Dynatard", o "Powertard") así como también los de estrangulamiento continuo pueden incrementar claramente la potencia de frenado (figura R).

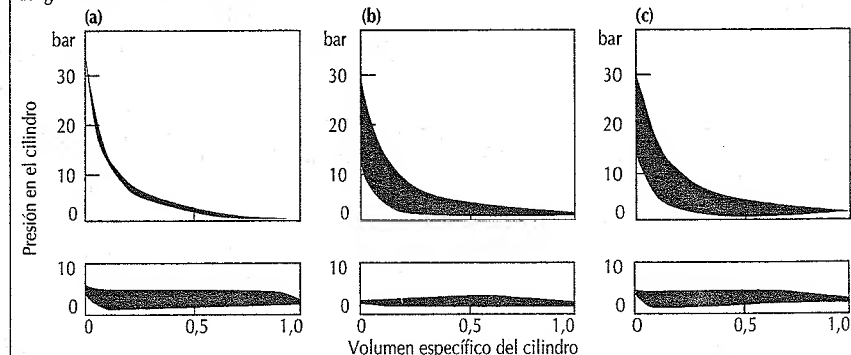
Freno del motor con válvula de tubo de escape: hasta hoy en día este tipo de freno de motor evidencia la mayor difusión. El conductor puede cerrar (mediante aire comprimido y poco esfuerzo) una válvula giratoria instalada en el tubo de escape. Se origina en el sistema de gases de escape una contrapresión que cada émbolo tiene que vencer en el 4° ciclo de trabajo (figura N).

Mediante el empleo de una válvula de regulación en la desviación se puede incrementar la potencia de frenado, juntamente con una válvula en el tubo de escape, en los intervalos medio y alto de revoluciones. A números mayores de revoluciones la válvula de regulación evita sobrepasar los límites, por encima de los cuales las válvulas, o su accionamiento, podrían sufrir daño.

Freno del motor con estrangulamiento continuo: el freno del motor convencional, con válvula en el tubo de escape, utiliza exclusivamente el trabajo en la fase de cambio de gas, es decir entre el 4° y el 1er ciclo de trabajo. Una descompresión exacta durante los ciclos de trabajo 2° y 3° libera una parte del trabajo de compresión. Los diagramas *p–v* presentan los desarrollos de las presiones en un cilindro para los sistemas de freno del motor de "válvula de tubo de escape" y "estrangulamiento continuo" así como también para la combinación de ambos sistemas (figura O). La potencia de frenado al utilizar el estrangulamiento continuo se origina principalmente en la fase de altas presiones, en contra de lo que sucede con la válvula de tubo de escape.

La instalación de una pequeña válvula de estrangulamiento en la desviación hacia la válvula de expulsión permite aumentar la potencia. El accionamiento de esta válvula se efectúa también aquí mediante aire comprimido, al igual que en la

***Principio de funcionamiento de sistemas de freno del motor en el diagrama p-v (n_M = 1700 min^{-1})** (figura O)*
(a) Válvula de freno de motor cerrada, (b) Estrangulamiento continuo conectado, (c) Válvula de freno cerrada y estrangulamiento continuo conectado



válvula giratoria en el tubo de escape. Durante el funcionamiento del freno del motor la válvula puede abrirse de forma continua, obteniéndose así una sección de estrangulamiento constante (figura P).

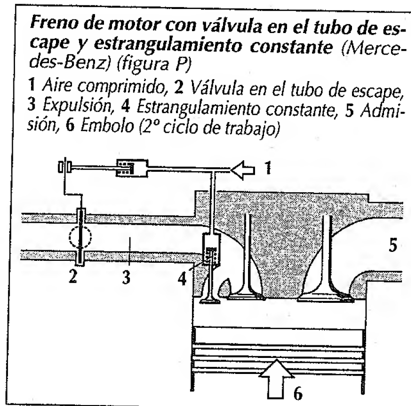
2.- Retardadores

En camiones y autocares se utilizan cada vez más los retardadores como frenos continuos sin desgaste. Así se puede cumplir con las regulaciones legales, incrementar la seguridad activa de los vehículos descargando el trabajo del freno de servicio y aumentar la rentabilidad de los vehículos mediante un menor desgaste de las guarniciones de frenos y unas mayores velocidades promedio.

Los retardadores pueden colocarse entre el motor y la caja de cambios (retardadores primarios) o entre la caja de cambios y el/los eje(s) motriz/motrices (retardadores secundarios). Los retardadores primarios tienen la desventaja de la inevitable interrupción de fuerza, y con ello la interrupción del efecto de frenado, durante el cambio de marchas en cambios manuales. Los retardadores primarios se realizan junto con engranajes de conmutación bajo carga. Esto conlleva una ventaja indudable frente al retardador secundario (figura S) en los descensos pronunciados reteniendo con el motor a baja velocidad.

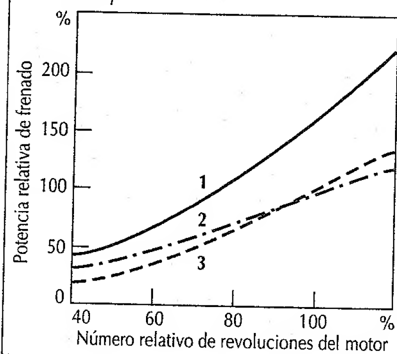
Freno de motor con válvula en el tubo de escape y estrangulamiento constante *(Mercedes-Benz) (figura P)*

1 Aire comprimido, 2 Válvula en el tubo de escape, 3 Expulsión, 4 Estrangulamiento constante, 5 Admisión, 6 Embolo (2° ciclo de trabajo)



Curvas de potencias de frenado *(Motor V-8) (figura R)*

1 Válvula de tubo de escape y estrangulamiento constante, 2 Estrangulamiento constante, 3 Válvula de tubo de escape



El nivel tecnológico lo forman dos concepciones básicas diferentes:

Retardador hidrodinámico: El retardador hidrodinámico actúa de la misma forma que el embrague Föttinger (figura T). La energía mecánica del árbol de accionamiento (casi siempre un eje Cardan) se transforma por medio del rotor en energía cinética de un liquido. Esta energía cinética a su vez se transforma en calor en el estátor, lo que hace necesaria la refrigeración del líquido.

Una palanca manual o el pedal de freno (en el retardador integrado) determinan la potencia de frenado precisada por el conductor. En conexión con una regulación electrónica se puede ajustar una presión neumática de mando definida, la cual empuja una cantidad de aceite proporcional a esa presión hacia el compartimiento de trabajo entre rotor y estátor del retardador. La energía de flujo, aportada al aceite por la velocidad del vehículo y el movimiento con ella provocado del rotor, es frenada por las palas fijas del estátor, lo que a su vez causa el frenado del rotor y así de todo el vehículo.

Características:

- En el montaje de un retardador hidrodinámico el calor de frenado producido debe eliminarse por medio del circuito de refrigeración del motor. Por ello es preciso un dimensionado suficiente del circuito de refrigeración.
- Coste constructivo relativamente alto,
- Peso reducido del retardador hidrodinámico integrado directamente en la caja de cambios,
- Altas potencias específicas de frenado,
- Par de frenado regulable sin escalones,

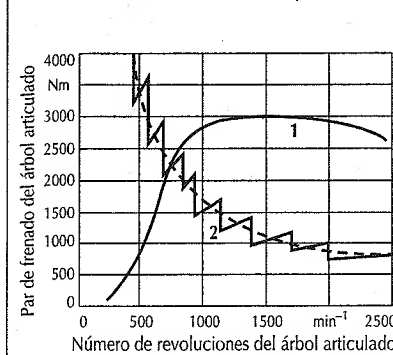
- Las pérdidas del ventilador también están presentes con el retardador desconectado y deben tenerse en cuenta en el dimensionado del retardador.

En el retardador hidrodinámico secundario se dispone de un par de frenado casi constante en un amplio intervalo del número de revoluciones del árbol articulado (figura U). Por debajo de aprox. 1000 min^{-1} el par de frenado cae bruscamente. Debido a esta característica los retardadores hidrodinámicos de construcción convencional son apropiados especialmente para vehículos con altas velocidades de transporte (transportes de largo recorrido).

Las nuevas concepciones de retardadores contrarrestan la característica desfavorable del par de frenado del tipo descrito y aportan altos pares de frenado ya a números reducidos de revoluciones del árbol articulado. Una etapa con una rueda dentada recta con relación de transmisión de aprox. 1:2, acciona estos "retardadores de multiplicación", colocados lateralmente

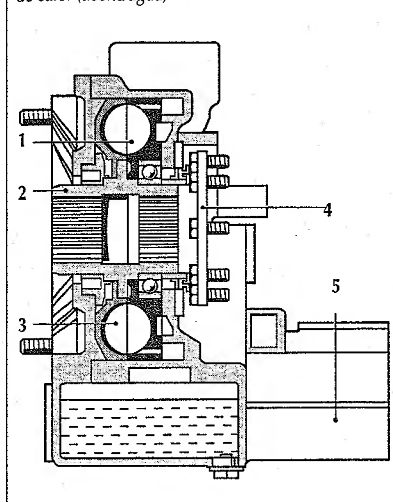
Característica de par de frenado de los retardadores *(figura S)*

1 Retardador secundario, 2 Retardador primario



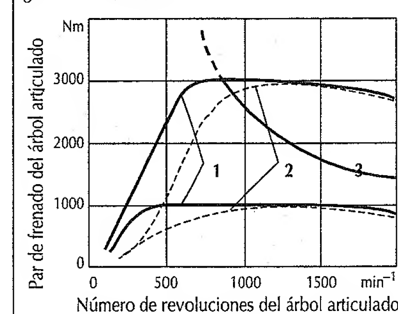
Retardador hidrodinámico *(figura T)*

1 Estátor del freno, 2 Árbol de accionamiento, 3 Brida de acoplamiento, 4 Rotor de freno, 5 Intercambiador de calor (aceite/agua)



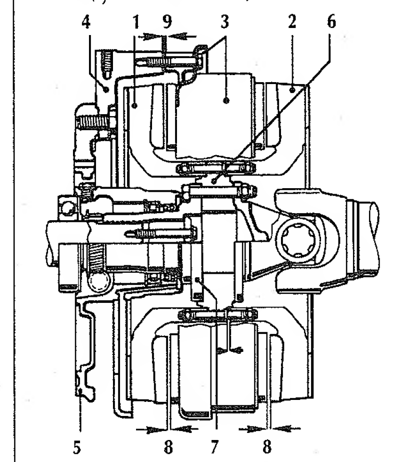
Campos característicos de retardadores hidrodinámicos *(figura U)*

1 Retardador de multiplicación, 2 Retardador convencional, 3 Límite de potencia de refrigeración bajo carga continua (300 kW)



Retardador electrodinámico *(figura V)*

1 Rotor en el lado del cambio, 2 Rotor al lado del eje trasero, 3 Estátor con bobinas, 4 Estrella de sujeción, 5 Tapa del cambio, 6 Brida intermedia, 7 Árboles de salida del cambio, 8 Entrehierro, 9 Arandelas distanciadoras (ajuste del entrehierro)



en la caja de cambios. Una regulación de microprocesadores se encarga de obtener pares de frenados de valor aceptable también en el intervalo inferior de revoluciones del árbol articulado mediante una válvula proporcional.

En ciertas situaciones los retardadores hidrodinámicos sólo pueden utilizarse un tiempo limitado. La potencia de refrigeración de los motores diesel modernos está en máx. 300 kW. Debido al acoplamiento de los circuitos de refrigeración del motor y del retardador podrían peligrar el motor y el retardador si no se adoptaran medidas de seguridad. Por ello el empleo de interruptores térmicos limita la potencia de freno del retardador de forma que se asegura el equilibrio térmico.

Retardador electrodinámico: Los retardadores corrientes actuales disponen de una sujeción que sirve de estátor, a la que se fijan las bobinas de excitación (figura V). En el árbol de accionamiento se instalan a cada lado del estátor unos rotores que llevan nervios para disipar mejor el calor. Para frenar se alimentan las bobinas de excitación con corriente (de la bobina o del generador) y producen así un campo magnético que induce corrientes de Foucault cuando los rotores atraviesan ese campo y generan el par de frenado, cuya magnitud depende de la excitación de las bobinas del estátor y del tamaño del entrehierro.

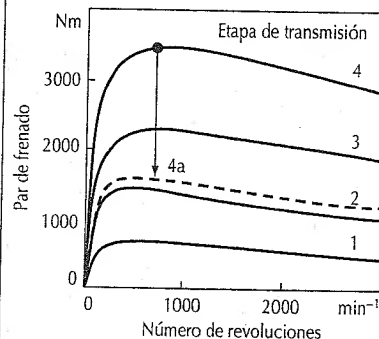
Características:
- El calor producido se descarga al aire,
- Coste constructivo relativamente reducido,
- Peso relativamente elevado,
- Para que funcione sin problemas es necesario tener una buena alimentación,
- El calentamiento del retardador lleva a la disminución del par de frenado,
- Potencias de frenado altas también a velocidades reducidas,
- Influyen en la potencia las palas del rotor, las condiciones de la corriente de aire alrededor del freno de corrientes parásitas y la temperatura ambiente.

Los retardadores electrodinámicos presentan, en comparación con los retardadores convencionales secundarios hidrodinámicos, pares de frenado relativamente altos a números reducidos de revoluciones (figura W).

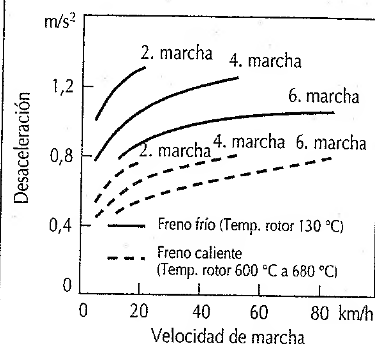
La clara reducción del par de frenado de los retardadores electrodinámicos al aumentar la temperatura del rotor se puede atribuir al aseguramiento térmico (figura Z). La desaceleración del vehículo se reduce al aumentar la carga térmica del retardador electrodinámico.

Para evitar destrucciones debidas a la temperatura, un interruptor bimetálico corta el suministro eléctrico a la mitad de las ocho bobinas, al alcanzarse en el estátor una temperatura de 250 °C (figura Z).

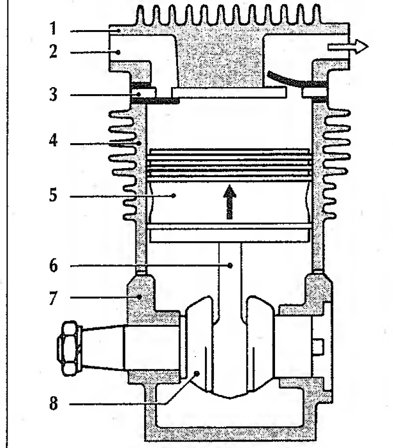
Característica del par de frenado de un retardador electrodinámico (figura W)
4a Potencia de frenado al alcanzarse el límite de potencia de refrigeración (escalón de conmutación 4)



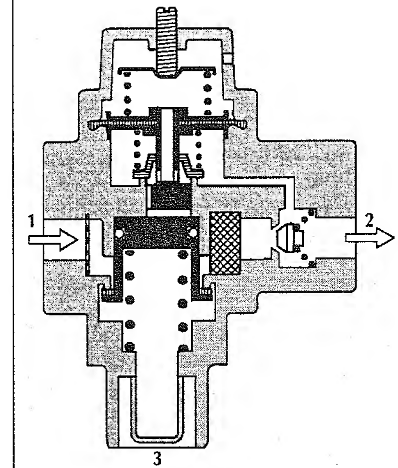
Influencia de la relación de transmisión y de la temperatura del rotor sobre la potencia de los retardadores electrodinámicos (vehículo industrial de 17 t, cargado) (figura Z)



Compresor de aire (compresión y transporte)
1 Culata, 2 Admisión de aire, 3 Placa intermedia (con válvulas de admisión y de expulsión), 4 Cilindro, 5 Émbolo, 6 Biela, 7 Cárter del cigüeñal, 8 Cigüeñal, 9 Hacia la instalación de aire comprimido



Regulador de presión
1 Desde el compresor de aire, 2 Hacia los depósitos de aire, 3 Purga de aire



Componentes para frenos neumáticos

Dispositivo de suministro de energía

El dispositivo de suministro de energía se compone de:
- Fuente de energía
- Regulación de presión
- Preparación del aire.

Fuente de energía: La fuente de energía es un compresor accionado por el motor mediante correas trapezoidales o ruedas dentadas, de funcionamiento continuo. Consta de:
- Cárter de cigüeñal con cigüeñal (arrastrador para la bomba de la dirección asistida en el extremo libre del árbol), apoyo y conexiones para el engrase del motor por circulación,
- Cilindro con émbolo y biela,
- Placa intermedia con válvulas de admisión y de expulsión,
- Culata con conexiones de aspiración y de presión de aire, y en versiones con refrigeración por líquidos, adicionalmente con las conexiones correspondientes.

Para reducir las pérdidas al ralentí (resistencias de aberturas y de corrientes en válvulas, conductos y regulador de presión) se emplean cada vez más reguladores de ahorro de energía que se montan en la placa de válvulas y se accionan neumáticamente mediante un elemento de ajuste. Al ralentí el orificio de entrada está abierto ya sea por medio de una desviación de la cámara de presión del compresor al lado de entrada o por medio de giro o desplazamiento de la válvula de admisión.

El compresor de aire se suele fijar al motor del vehículo por medio de un pie o una brida; a veces ya viene integrado al motor.

En su carrera descendente el émbolo aspira aire después que la válvula de admisión se haya abierto automáticamente por la depresión. Al comienzo de la carrera ascendente el émbolo la cierra. Se comprime entonces el aire y una vez alcanzada una presión determinada por encima de la cual se abre, también automáticamente, la válvula de descarga se comunica ésta con la instalación de aire comprimido a la que está unida.

Se intenta alcanzar en la cantidad transportada un grado de transporte del 70% y en el consumo de aceite un valor máx. de 0,5 g/h.

Regulación de la presión: La regulación de presión cuida del mantenimiento del nivel de presión deseada. Se utilizan principalmente dos tipos de regulación:

1° Con regulador de presión que no actúa en la fuente de energía (en compresores con números de revoluciones máximos >2500 min⁻¹).

El regulador de presión se desconecta al alcanzar la presión de trabajo máxima deseada y hace que durante el período siguiente de marcha en vacío el compresor descargue la presión al ambiente. Al llegar la presión en el depósito de aire a su límite inferior de presión de trabajo, el regulador se conecta de nuevo y conduce el aire comprimido por el compresor al depósito.
2° Con regulador de presión que actúa en la fuente de energía (en compresores con números de revoluciones máximas <2500 min^{-1}).

El regulador tan pronto como se alcanza la presión de trabajo máxima deseada, abre por desviación de la presión de un émbolo de accionamiento en el compresor la válvula de admisión de éste. El aire aspirado vuelve simplemente a la tubería de aspiración sin volver al depósito. Si la presión en el depósito de aire llega al límite inferior de trabajo, entonces conmuta el regulador, la válvula de admisión se abre y cierra automáticamente y se llenan los depósitos de aire.

Nivel de presión: En el vehículo tractor se utilizan hoy día valores entre 7 y 12 bar (baja presión) y entre 14 y 20 bar (alta presión). En las tuberías de unión al remolque, las presiones para las instalaciones de doble conducción están entre 6 y 8 bar.

Preparación del aire: Debe asegurar el funcionamiento sin averías de los componentes de la instalación de frenos conectada a continuación. La suciedad es perjudicial para la estanquidad de las válvulas de regulación y cuando hay agua en el aire comprimido se produce corrosión y, en caso de helada, su congelación. Para evitar esto se instala a continuación del compresor un secador de aire. Con esta disposición ya no es necesaria la adición de productos anticongelantes.

Secador de aire de un compartimiento

Un secador de aire consta principalmente de un compartimiento de producto secante (higroscópico) y un armazón en el cual se encuentran, además de la conducción de paso de aire, una válvula de descarga de aire y una regulación para la regeneración del granulado. Usualmente se regenera el granulado mediante un depósito de aire de regeneración con válvula de estrangulamiento y regeneración integrada.

Funcionamiento: El aire comprimido fluye, a válvula de descarga cerrada, proveniente del compresor a través del compartimiento del producto secante a los depósitos de reserva de aire. Simultáneamente se llena un depósito de aire de regeneración de un volumen de 4 a 6 litros con aire comprimido secado. Al pasar por el compartimiento de producto secante se le extrae agua, por condensación y por adsorción, al aire comprimido húmedo.

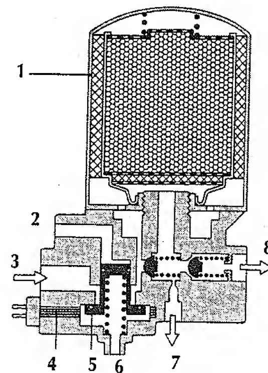
El granulado en el compartimiento de producto secante tiene una capacidad limitada de absorción de agua y por ello debe ser regenerado después de ciertos intervalos de tiempo. En un proceso de inversión, el aire comprimido seco del depósito de aire de regeneración se descomprime a presión atmosférica a través de la válvula de estrangulamiento y regeneración, fluye contracorriente a través del granulado húmedo, le extrae la humedad y se expulsa luego, como aire húmedo, a la atmósfera a través de la válvula de descarga. En secadores de aire con regulador integrado de presión, su dispositivo de mando está montado en la conexión 4 del armazón de válvulas del secador.

Dispositivo de accionamiento

El dispositivo de accionamiento comprende por lo general los elementos desde el pedal de freno hasta los componentes que actúan sobre los dispositivos de regulación.

Secador de aire de un compartimiento

1 Compartimiento de producto secante (higroscópico), 2 Desde el regulador de presión, 3 Desde el compresor de aire, 4 Varilla de calefacción, 5 Válvula de descarga, 6 Purga de aire, 7 Hacia el depósito de aire de regeneración, 8 Hacia el depósito de aire de reserva



Dispositivo de transmisión

El dispositivo de transmisión se compone de:
- Seguridad del circuito (por ejemplo: válvula de protección de varios circuitos)
- Acumulación de energía (por ejemplo: depósito de aire)
- Aparatos de mando (por ejemplo: válvulas de freno)
- Aplicación de la fuerza de frenado graduada según la carga (por ejemplo: regulación automática de la fuerza de frenado en función de la carga)
- Cilindros de frenado o de servofreno

El esquema de bloques representado abajo, indica como actúan entre sí los componentes del dispositivo de transmisión de una instalación de frenos de servicio con fuerza externa, de doble circuito (planos de frenos en la página 622). Misión y construcción de los componentes:

Seguridad del circuito: Separación de un circuito del otro en caso de avería en uno de ellos, así como posibilidad de continuar alimentando el circuito intacto.

Eso se consigue principalmente por combinación de válvulas de sobrecarga unidas cuya función queda asegurada tanto con caudales pequeños como grandes.

Acumulación de energía: Disposición del volumen de energía necesario para todos los circuitos, incluso para el caso de fallo de la fuente de energía. Para esto se utilizan corrientemente depósitos de aire, de chapa soldada con sus correspondientes reservas de seguridad para las sobrepresiones y contra la corrosión.

Dispositivos de regulación

Regulación de la dosificación de presión deseada en la parte de la instalación que corresponda. Las válvulas de reacción accionadas o reguladas mecánica, hidráulica o neumáticamente, regulan la presión a la salida de la válvula correspondiente, en relación con la magnitud de la de entrada. Por razón de la multiplicidad de aplicaciones también se utilizan numerosos aparatos diferentes. Entre otros, para las instalaciones de freno de servicio de doble circuito, hacen falta válvulas de regulación de los dos circuitos. Para cumplir bien los cometidos que se asignan a la instalación de frenos hace falta una buena regulación, con buena capacidad de dosificación, reacción rápida y una histéresis reducida.

Regulación automática de la fuerza de frenado en dependencia de la carga (ALB)

Regulación automática de la presión en función de la carga. A menudo se toma como medida de la carga el recorrido de los muelles (en el caso de suspensión de muelles de acero) y la presión en los fuelles (en suspensión neumática). Una válvula de regulación con una sección de reacción variable, reduce su presión de salida con respecto a la de entrada, en función del recorrido de los muelles o la presión en los fuelles.

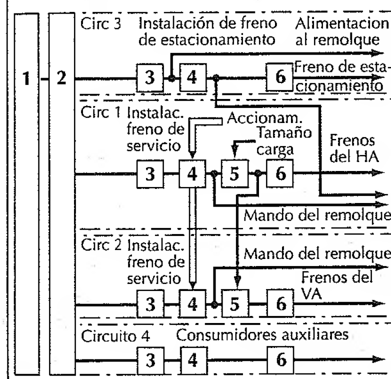
Cilindro de freno o cilindro posicionador

Conversión en fuerza de la presión regulada en la instalación correspondiente. Existe tanto el tipo de pistón como el de membrana. Para las instalaciones de freno de servicio se utilizan principalmente cilindros de membrana y para las instalaciones de frenos de estacionamiento los cilindros con pistón y acumulador de energía por muelle. En los ejes en los cuales actúan tanto los frenos de servicio como los de estacionamiento y en las instalaciones de freno sin transmisión hidráulica de la fuerza, se emplean cilindros (llamados cilindros combinados) de una sola cámara con acumulador de energía por muelle.

Frenos de ruedas (ver pág. 644)

Dispositivos de transmisión de una instalación de freno de fuerza externa *(Esqema de bloques)*

1 Aporte de energía, 2 Seguridad del circuito, 3 Acumulación de energía, 4 Aparatos de regulación y mando, 5 Dosificación de la fuerza de frenado en función de la carga, 6 Cilindros de freno o servofrenos. VA Eje delantero, HA Eje trasero



Válvula del freno de servicio
Se accionan dos válvulas de regulación, dispuestas una detrás de otra, por medio de un dispositivo común (pedal de freno con transmisión). Por medio de las fuerzas de cierre de válvula y del muelle de igual magnitud, así como con el equilibrado de las fuerzas de abertura en ambas válvulas de regulación se asegura el sincronismo en ambos circuitos. El pistón equilibrador que esté entre los circuitos de regulación, cuando está en posición de frenado soporta en ambas caras la presión que ya está regulada para el caso, y cuida así de la marcha por igual de los circuitos. Por medio del recorrido de muelle pretensado se consiguen pequeños recorridos de reacción de la válvula del freno de servicio. La acción conjunta de la fuerza del pistón de reacción y el recorrido del muelle permite que el sistema ejecute los recorridos de regulación de forma automática. Una doble junta del pistón equilibrador cuida de la seguridad exigida.

Válvula del freno de estacionamiento
A cauda del poco espacio de montaje en tablero de instrumentos, surgió la forma hoy corriente muy pequeña de la válvula del freno de estacionamiento que regula los cilindros de freno fundamentalmente por medio de válvulas de relés.

Una palanca accionada manualmente (palanca de accionamiento) ajusta un asiento interior de válvula por excéntrico y cubrejunta de ajuste. Así regula una válvula de doble asiento, actuando aire comprimido por arriba y la fuerza de muelles de presión por abajo sobre un émbolo de válvula. En la posición de frenado la palanca de accionamiento se enclava automáticamente, quedando el compartimiento encima del émbolo de válvula descargado del aire. A voluntad se pueden adoptar posiciones intermedias entre frenado.

Si se mueve la palanca de accionamiento más allá de la posición de frenado, entonces acciona la válvula auxiliar (válvula de comprobación). En este caso fluye aire desde el depósito de reserva de aire hacia la conexión de la válvula de regulación del remolque, dejando activo el efecto de frenado en el vehículo de tracción, pero suprimiendo dicho efecto en el remolque.

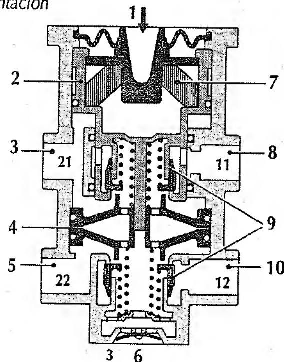
Regulador automático de la fuerza de frenado en función de la carga
El regulador de la fuerza de frenado está conectado entre la válvula del freno de servicio y los cilindros del freno. Según la carga del vehículo regula la presión de frenado que le llega. Tiene una membrana de reacción con superficie de accionamiento variable. La membrana está situada sobre dos rejas en forma de radios que atacan una sobre la otra. Según la posición del asiento de la válvula de regulación en dirección vertical se obtiene una superficie de reacción grande (posición inferior de la válvula) o pequeña (posición superior de la válvula). Con ello se consigue regular, o bien una presión baja (carga de vehículo vacío) o la misma presión alta (plena carga) procedente de la válvula de freno de servicio a través de una válvula relé integrada en los cilindros del freno. El regulador va fijo al bastidor del vehículo y está en contacto, a través de varillaje, con la suspensión del eje por medio de una palanca giratoria. La leva giratoria desplaza lo que corresponda el tubo de la válvula en dirección vertical y determina con ello la posición de la válvula. El limitador de presión, incorporado encima del regulador, deja penetrar una pequeña parte de la presión sobre la cara superior de la membrana. Así, hasta la llegada de esta presión, no se produce ninguna reducción de la presión en el cilindro de freno. Esto realiza la aplicación sincrónica de los frenos de todos los ejes del vehículo. En caso de rotura de la palanca giratoria, la presión regulada fluye hacia los cilindros de freno en la proporción 2:1.

Cilindros de freno combinados para los frenos de cuña
El cilindro combinado consta de un cilindro de una sola cámara con membrana para los frenos de servicio y un cilindro de pistón con acumulador de energía por muelle para el freno de estacionamiento, dispuestos uno detrás de otro, que actúan sobre el mismo vástago de empuje. Pueden ser accionados independientemente el uno del otro. Cuando se accionan simultáneamente se suman sus fuerzas. El tornillo central de afloje, permite tensar el muelle del acumulador de muelle, incluso sin aire comprimido. Esta es también la posición de montaje al instalarlo en el vehículo. Después del montaje, el tornillo de afloje se atornilla hacia dentro del cilindro acumulador de muelle, y el muelle actúa, a través del vástago del pistón, sobre el mecanismo separador de cuña. Por la entrada del aire comprimido delante del pistón del acumulador de energía por resorte (soltado del freno de estacionamiento) se mueve el pistón venciendo la fuerza del muelle, el cual se tensa y suelta el freno (posición dibujada). Cuando se acciona el freno de servicio entra el aire comprimido por detrás de la membrana y a través del disco del pistón y el vástago de empuje comprime el mecanismo separador de cuña. La disminución de la presión hace que nuevamente se suelte el freno.

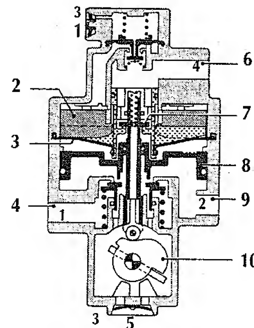
Para frenos de tambor accionados por levas y para frenos de disco se utilizan variaciones del principio descrito.

Válvula de mando del remolque
La válvula de mando del remolque incorporada en el vehículo de tracción gobierna los frenos de servicio del remolque en las instalaciones de freno de doble conducción.

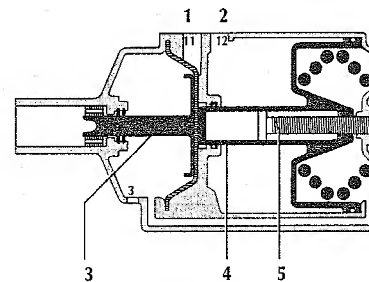
Válvula de freno de servicio
1 Accionamiento, 2 Pistón de reacción, 3 Circuito de freno, 4 Pistón equilibrador, 5 Circuito de freno, 6 Al aire libre, 7 Recorrido de muelle, 8 Circuito de alimentación, 9 Válvulas de regulación, 10 Circuito de alimentación



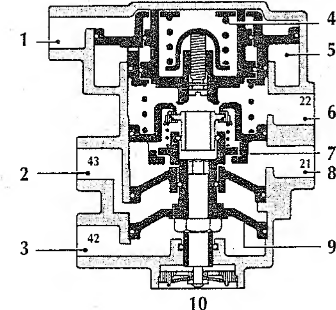
Regulador automático de la fuerza de frenado en función de la carga
1 Purga de aire, 2 Rejas, 3 Membrana de reacción, 4 Del depósito de aire, 5 Al aire libre, 6 De la válvula del freno de servicio, 7 Válvula de regulación, 8 Pistón relé, 9 A los cilindros de freno, 10 Leva giratoria



Cilindro de freno combinado para frenos de cuña
1 Cilindro de cámara única
2 Cilindro acumulador, de resorte
3 Vástago empujador
4 Vástago del pistón
5 Tornillo de afloje



Válvula de mando del remolque
1 Circuito de freno de servicio 1, 2 Circuito de freno de estacionamiento, 3 Circuito de freno servicio 2, 4 Muelle de regulación previa, 5 Pistón de regulación 1, 6 Conducción de freno hacia el remolque, 7 Unidad de émbolo de mando, 8 Conducción de reserva hacia el remolque, 9 Pistón de regulación 2, 10 Purga de aire



Esta válvula relé de múltiples circuitos viene regulada por ambos circuitos de freno de servicio y por el freno de estacionamiento.

En posición de marcha la cámara de reserva así como la del circuito del freno de estacionamiento están a la misma presión alta, y la conducción del freno del remolque está descargada de aire a través de la purga central. Una elevación de presión delante del émbolo de regulación del circuito de freno N° 1 (arriba) y/o del circuito de freno N° 2 (abajo) lleva a la elevación de presión correspondiente en la conducción del freno del remolque. Debido al tamaño mayor del émbolo de regulación del circuito de freno N° 1, éste tiene preferencia frente al émbolo de regulación del circuito N° 2. La disminución de presión en los circuitos de frenos de servicio produce una disminución igual de presión en la conducción de freno del remolque. Al descargarse el aire del circuito del freno de estacionamiento (proceso de frenado), se eleva la presión en la cámara correspondiente a la tubería de los frenos del remolque. Cuando se descarga el aire del circuito del freno de estacionamiento (proceso de soltado) vuelve a descargarse de aire la tubería del freno del remolque.

Silenciadores

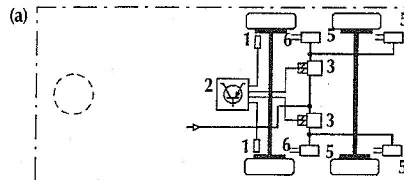
En cumplimiento de las normas legales nacionales e internacionales de hoy en día y del futuro, la emisión de ruidos de las descargas de aire de las diferentes válvulas de descarga debe ser reducida. Esto se efectúa por medio de silenciadores que generalmente actúan según el principio de la absorción. Su tamaño se rige por la cantidad de aire que debe ser descargado, la presión del aire, la duración de la descarga y el nivel de ruidos admitido.

El silenciador es un cilindro relleno de material aislante, el cual posee ranuras radiales y axiales. La amortiguación del sonido se consigue por el curso de la corriente de entrada, el cartucho aislante y las ranuras de descarga con forma esférica de las guías de la corriente de salida. Los silenciadores se unen a las válvulas de aire comprimido con roscas, conexiones de tubo, uniones de bayoneta o de trinquete. Determinadas versiones cumplen las condiciones de "vehículo de emisiones de ruidos reducidas" [72 dB(A)].

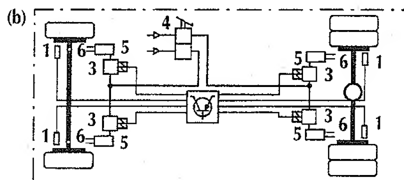
Ejemplos de instalaciones de ABS para vehículos industriales

(a) Instalaciones de un eje (semirremolques),
(b) Instalaciones de dos ejes,
(c) Instalaciones de tres ejes (autocar articulado).
1 Sensor de número de revoluciones,
2 Dispositivo de mando,
3 Válvula de regulación de presión,
4 Válvula del freno de servicio,
5 Cilindro de freno,
6 Anillo de impulsos

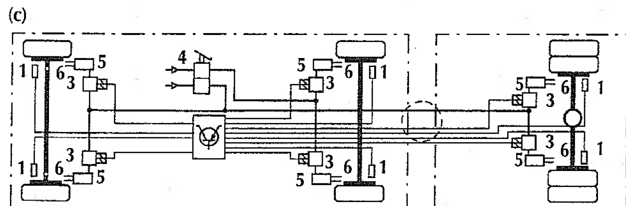
(a)



(b)



(c)



Sistema antibloqueo (ABS) para vehículos industriales

El ABS evita el bloqueo de las ruedas en el caso de un frenado demasiado fuerte. A causa de ello el vehículo permanece estable y dirigible incluso con un frenado a fondo sobre una calzada lisa. Por otra parte, un frenado con las ruedas bloqueadas supone en muchos casos un recorrido de frenado más corto. En los vehículos articulados, el ABS impide el peligroso doblado.

Los vehículos industriales, a diferencia de los turismos, llevan instalación de freno neumática. Aún así, la descripción del funcionamiento del circuito de regulación ABS para turismos (página 627) es también válida para los vehículos industriales.

El ABS para los vehículos industriales consta de sensores del número de revoluciones, de un dispositivo electrónico de mando y de válvulas de regulación de la presión. Regula en cada cilindro de freno la presión de frenado, haciendo que aumente, que se mantenga o baje descargándola al exterior.

Regulación individual (IR)

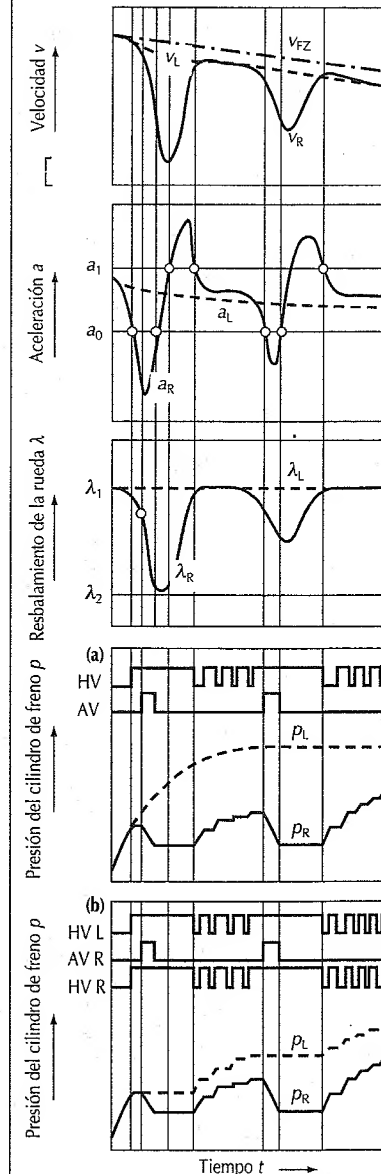
Este procedimiento de regulación, en el cual la presión de frenado se puede regular por separado para cada rueda, da como resultado los recorridos de frenado más cortos. En condiciones de μ distinto (diferente coeficiente de rozamiento entre las ruedas de la derecha y las de la izquierda, como puede suceder con hielo en el borde de la calzada y el centro en buenas condiciones) se produce un par de giro elevado alrededor del eje vertical del vehículo, lo cual hace más difícil dominar los vehículos con poca batalla (reducida distancia entre ejes). Además se producen pares de dirección elevados debido a los grandes radios positivos del círculo de virado usuales en los vehículos industriales.

Regulación Select Low (SL)

Durante la aplicación de este procedimiento de regulación el par de giro sobre el eje vertical y el par sobre la dirección son nulos. Las presiones de freno sobre ambas las ruedas de un eje son de igual valor, lo que se consigue con sólo una válvula de regulación de presión por cada eje. El nivel de presión se rige, en una regulación SL pura,

Procedimientos de regulación de ABS

Ejemplo: frenado con μ-split
(a) Regulación individual (eje trasero), (b) Regulación individual modificada (eje de dirección),
HV Válvula de mantenimiento, AV Válvula de descarga, FZ Vehículo, R Rueda derecha, L Rueda izquierda, 0, 1, 2 Umbrales



según la rueda que gira con valor de fricción bajo (select low). En condiciones de μ distintos resultan recorridos de frenado mayores porque a la rueda con μ alto le falta fuerza de frenado.

Los procedimientos de frenado con mayor presión en comparación con el SL, accionan la rueda con el valor de fricción inferior hasta su bloqueo completo. En condiciones de μ distinto resultan recorridos de frenado menores, generalmente la capacidad de conducción y la estabilidad se reducen.

Regulación individual modificada (IRM)

Este procedimiento de regulación necesita en cada rueda de un eje una válvula de regulación de presión. Reduce los pares de giro sobre el eje vertical y sobre la dirección sólo cuanto sea necesario, limitando la diferencia de presión de frenado entre la derecha y la izquierda a un valor admitido. Así, la rueda con valor alto de fricción se frena algo menos. Esta solución de compromiso origina un recorrido de frenado sólo un poco mayor, en comparación con la regulación individual, pero asegura la capacidad de gobierno incluso de vehículos difíciles.

Ejecuciones de ABS para vehículos industriales

El ABS está prescrito legalmente como obligatorio desde el 1° de octubre de 1991, en los países de la Unión Europea, para camiones con remolque y semirremolque (>16t), remolques (>12t) y autocares (>12t). Existe la intención de extender esta medida a vehículos de menos peso (>3,5t). La ley admite tres categorías de instalaciones de ABS. Se diferencian en las exigencias repecto al frenado, así como también por el comportamiento de las ruedas y del vehículo sobre calzadas con μ-split. La mayoría de los fabricantes europeos de vehículos utilizan exclusivamente las instalaciones de ABS de la categoría 1. Solo éstas tienen que cumplir todos los requerimientos de la directiva 71/320/CEE.

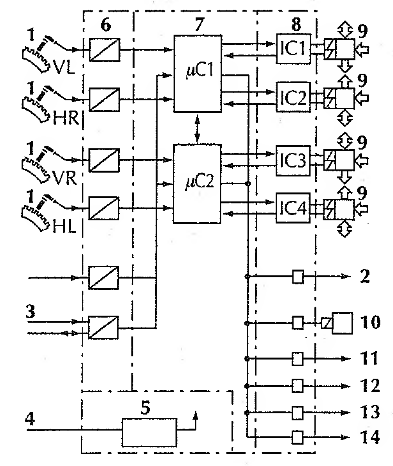
Todas las instalaciones de ABS tienen que disponer de una luz de alarma que se encienda como mínimo durante dos segundos, después de conectarse el interruptor de marcha en posición "On", y que debe ser comprobada por el conductor. Si la luz se enciende durante la marcha, entonces la comprobación constante de la misma instalación ha detectado un fallo; entonces el ABS se puede desconectar del todo.

Los vehículos de tracción y remolques, con instalaciones de ABS de distintos fabricantes se pueden combinar a discreción, pues la conexión eléctrica entre el vehículo de tracción y el remolque está normalizada en DIN ISO 7638.

Todas las combinaciones de vehículos (semirremolque, camión remolque) se dominan mucho mejor en las frenadas, dentro de los límites de la física, cuando ambos vehículos (remolcador y remolque) están equipados con ABS. Pero incluso con equipos parciales (ABS sólo en el vehículo de tracción o sólo en el remolque) ya se consiguen mejoras importantes en comparación con una combinación de vehículos sin ABS.

Con el fin de poder equipar la multiplicidad de tipos de vehículos industriales con un óptimo de prestaciones y de costes – según el número de ejes regulados – existen instalaciones con equipos ABS para uno, dos y tres ejes. Las instalaciones de un eje se utilizan principalmente en semirremolques con uno, dos o tres ejes. Con este sistema se regulan por separado las ruedas de un eje. En los demás ejes actúa la misma presión de frenado que en el eje regulado.

Dispositivo de mando de ABS/ASR
1 Sensor del número de revoluciones, 2 Interfase ASR y regulación del motor, 3 Autodiagnóstico, 4 Tensión de a bordo, 5 Suministro de tensión, unidad de protección, 6 Fases de entrada, 7 Microprocesadores 1 y 2, 8 Fases finales, 9 Válvula de regulación de presión, 10 Válvula electromagnética del ASR, 11 Luz de alarma, 12 Luz de información del ASR, 13 Relé retardador, 14 Relé de válvula



Las instalaciones de dos ejes encuentran aplicación en los autobuses de dos ejes, en camiones y en remolques. También son de aplicación en los de tres ejes siempre y cuando dos de ellos estén cerca el uno del otro y puedan atenderse con la misma presión de frenado como en las instalaciones de un eje. Las instalaciones de tres ejes son principalmente para vehículos con gran distancia entre ejes, como los autobuses articulados. Para instalaciones de dos o de tres ejes o bien actúa sobre el eje de dirección el procedimiento de regulación IRM o, si dicho eje sólo está equipado con una válvula de regulación de presión, el procedimiento de regulación SL. En vehículos industriales se utiliza para el eje trasero siempre la regulación individual (IR).

Los dispositivos de regulación de que se dispone, permiten ulteriores posibilidades de combinación de regulaciones (no descritas aquí). Ejemplo: si los dos ejes de un semirremolque disponen de sensores de número de revoluciones, pero cada lado sólo de una válvula de regulación de presión, entonces las ruedas de un lado del vehículo son reguladas de forma similar al sistema SL. En ello uno de los ejes puede ser de elevación, el cual en estado de elevación automáticamente es excluido de la regulación.

Todas las instalaciones ABS van equipadas con válvulas de regulación de un solo canal; la de remolques asimismo con válvulas de regulación de presión con efecto de relé (ver figura).

En vehículos industriales ligeros con transformadores neumáticos/hidráulicos, el ABS se acopla mediante válvulas de regulación de presión de un canal a la parte neumática de la instalación y determina así la presión hidráulica de freno. En otras versiones un modulador de presión del ABS, con válvulas integradas electromagnéticas, está conectado paralelamente al transformador neumático/hidráulico. Los moduladores se maniobran con los mismos dispositivos de regulación que las válvulas de regulación de presión de un canal.

Un freno continuo accionado (freno del motor o retardador) puede llevar a un resbalamiento alto no admisible en las ruedas motrices si el coeficiente de rozamiento es bajo. Así la estabilidad del vehículo se vería reducida. Por ello el ABS vigila el resbalamiento de frenado y lo regula mediante conexión o desconexión del freno continuo hacia valores admisibles.

Componentes del ABS

Sensor de número de revoluciones

El anillo de impulsos, montado en el cubo de la rueda, produce una corriente alterna en el sensor si la rueda gira, cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de la rueda (ver descripción de funcionamiento en pág. 107).

El sensor de revoluciones va montado en un manguito elástico y al montarlo en el vehículo se empuja hacia dentro hasta hacer tope con el anillo de impulsos. A causa del juego del cojinete de la rueda y de la deformación elástica del eje, durante la marcha es empujado hacia afuera por el anillo de impulsos y así se fija automáticamente el entrehierro entre el anillo de impulsos y el sensor. Según sea el diámetro del anillo de impulsos, el entrehierro adquiere valores admitidos de hasta varios milímetros. Si el entrehierro es demasiado grande, el dispositivo electrónico de mando desconecta la regulación en aquella rueda.

Dispositivo electrónico de mando

Las fases de entrada del dispositivo electrónico de regulación transforman las señales sinusoidales del sensor de revoluciones, en señales rectangulares. Microprocesadores, dispuestos en redundancia, calculan las velocidades de la rueda partiendo de las frecuencias de las señales rectangulares. De las velocidades de la rueda calculadas se estiman velocidades de referencia del vehículo. Con estas velocidades de referencia y las distintas velocidades de las ruedas, se calcula el resbalamiento de frenado para cada rueda. Partiendo de las señales de la "aceleración de la rueda" y del "resbalamiento de la rueda" se reconoce la posible existencia de tendencia al bloqueo. En tal caso, el microprocesador regula entonces los imanes de las válvulas de regulación de presión, a través de las cuales se influye en la presión de los distintos cilindros de freno.

El dispositivo electrónico de regulación contiene un amplio programa para el reconocimiento de averías en todo el sistema antibloqueo (sensor de revoluciones, dispositivo de mando, válvulas de regulación de presión, mazo de cables). Si detecta una avería, el dispositivo de regulación desconecta la parte defectuosa del ABS, grabando un código de fallo, el cual caracteriza el itinerario de señales defectuoso. Este código puede luego ser leído en el taller de reparaciones o mediante una luz de diagnóstico (código de centelleos) o mediante un dispositivo de comprobación inteligente (p.ej. ordenador personal) a través de una interfase según la propuesta ISO.

Los dispositivos de mando de algunos fabricantes europeos no solamente abarcan la función de ABS, sino también la regulación del resbalamiento a la tracción (ASR) y, en algunos casos, incluso un limitador de la velocidad de marcha (FGB)(ver pág. 579). Es esencial que los dispositivos de regulación se configuren automáticamente en su función. Si un vehículo está equipado sólo con componentes de ABS, el dispositivo ejecuta sólo las funciones de ABS; si el vehículo posee componentes de ASR, entonces el dispositivo regula también el resbalamiento a la tracción.

Válvula de regulación de la presión

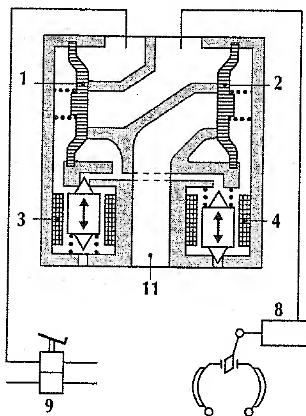
Hay válvulas de regulación de la presión de un canal con o sin efecto de relé. Las válvulas con efecto relé son utilizadas en semirremolques y en remolques con barra de tracción. A menudo la instalación estándar de frenos en remolques contiene relés, los cuales pueden ser sustituidos por las válvulas con efecto relé del ABS. Las válvulas sin efecto relé del ABS encuentran aplicación en todos los restantes tipos de vehículos, es decir en autocares, camiones, máquinas de tracción de trenes con semirremolques, así como también en remolques y vehículos especiales. Ambos tipos de válvulas tienen válvulas electromagnéticas 3/2. En las válvulas sin efecto relé se regula con ellas a válvulas de membrana 2/2, las cuales tienen una sección suficientemente grande para casi todas las aplicaciones. En las válvulas con efecto relé las válvulas electromagnéticas 3/2 influyen en la presión en la cámara de regulación de una válvula relé. Si las válvulas de regulación previa son accionadas según la combinación electrónica correspondiente, se tiene la función "retención de la presión" o la de "eliminación de la presión". Si no se recibe ninguna orden, significa "acumulación de presión".

Durante un frenado sin excitación del ABS (sin tendencia de una rueda al bloqueo)

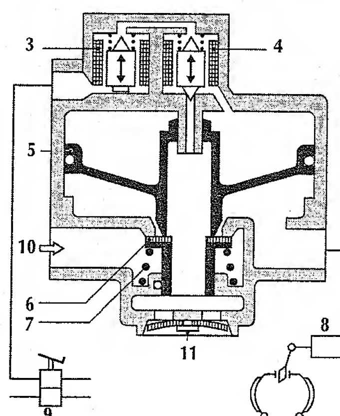
Válvula de regulación de la presión (esquema)

1 Válvula de sujeción, 2 Válvula de descarga, 3 Válvula electromagnética para "mantener presión", 4 Válvula electromagnética para "reducir presión", 5 Émbolo de regulación, 6 Platillo de válvula, 7 Muelle de presión, 8 Cilindro de freno, 9 Válvula del freno de servicio, 10 Aire de reserva, 11 Purga de aire

Válvula de regulación de presión de un canal



Válvula de regulación de presión con efecto relé



el aire pasa por las válvulas sin ningún impedimento, en ambos sentidos, tanto en el llenado como en el vaciado del cilindro de freno. Así se asegura que válvulas del ABS no influyen en el funcionamiento de la instalación del freno de servicio.

Instalación de frenos para vehículos industriales regulada electrónicamente (ELB)

Misión

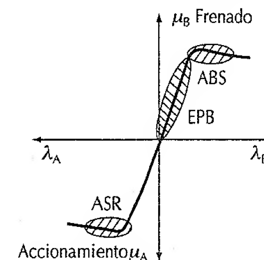
La instalación de frenos regulada electrónicamente (ELB) tiene por objeto optimizar el proceso de accionamiento y de frenado, ayudar al conductor y al servicio técnico en la supervisión y mantenimiento de la instalación de frenos y mejorar la rentabilidad. En un sistema de administración del vehículo, la ELB puede aprovechar informaciones disponibles a través de la red bus para un proceso agradable de accionamiento y de frenado así como también proporcionarle datos propios a otros sistemas. La ELB simplifica la instalación de frenos, la cual consta de diferentes válvulas de ajuste y de regulación. Las funciones complejas son procesadas electrónicamente en la ELB.

Grupos de funcionamiento

Una ELB comprende al menos:
- Instalación de frenos electroneumática (EPB),

Gráfica de accionamiento por fricción/resbalamiento, amplitud de la ELB

λ Resbalamiento, μ Coeficiente de accionamiento por fricción, Indices: A Accionamiento, B Frenado

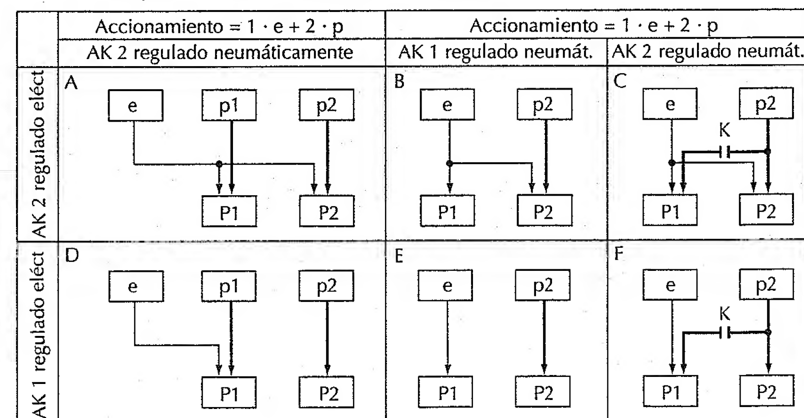


- Sistema de antibloqueo (ABS),
- Sistema de regulación del resbalamiento en la tracción(ASR).

El ABS y el ASR se han descrito en el apartado de vehículos industriales (págs. 659 y 578 respectivamente) y son mejorados en la ELB mediante informaciones adicionales como son la presión en el cilindro de frenos y la carga sobre el eje. En el intervalo estable de accionamiento por fricción/campo de resbalamiento (ver figura) la acción del freno se regula de forma electrónica, mediante la ELB. Por otra parte, el efecto de la regulación de la presión se puede asentar, según los distintos puntos de mira, en las ruedas, los ejes y, en vehículos particulares, en el conjunto del campo de la EPB. Para

Estructura de los circuitos de accionamiento y de trabajo

e/p Accionamiento eléctrico/neumático, P Circuitos neumáticos de trabajo (AK), 1, 2 Aire a presión de acumuladores 1, 2, K Válvula de separación de circuitos (desacoplado), A...F Variantes



los problemas de sintonización hay soluciones tácticas. Las diferencias en la construcción del accionamiento de los frenos tienen que compensarse en los datos predeterminados del programa de regulación. Las desviaciones de funcionamiento se ajustan automáticamente.

Estructura

La alimentación de aire comprimido, el aseguramiento del circuito, la acumulación de energía y los cilindros de freno también están comprendidos en la ELB. En primer lugar se dispone de sistemas ELB con circuitos neumáticos de retención como nivel inferior de seguridad (back up). Las generaciones posteriores de vehículos vendrán con más seguridad, con circuitos múltiples eléctricos y sin circuitos de retención.

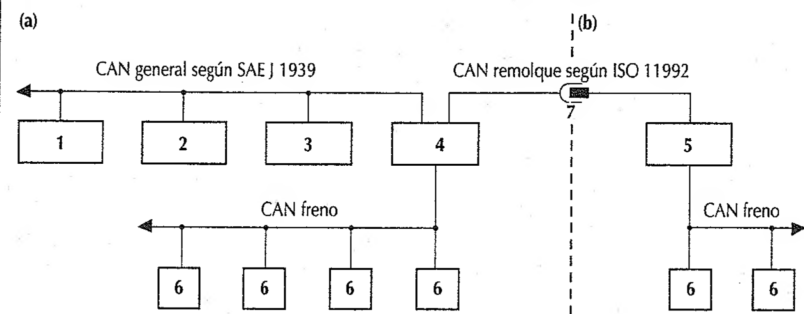
Normalmente los circuitos neumáticos de trabajo para accionar los cilindros de freno son de dos circuitos en el vehículo de tracción, según la distribución de frenado II (pág. 622) y de un solo circuito en el vehículo remolque. En la figura "Estructura de los circuitos de accionamiento y trabajo" se representan combinaciones con accionamientos eléctricos y neumáticos en dos circuitos de trabajo. La variante A permite el accionamiento eléctrico de todos los ejes y posee circuitos neumáticos de retención. Los vehículos de remolque se regulan a través de una unión normalizada. Debido a las combinaciones de tracciones con vehículos convencionales y la regulación prescrita a través de todos los circuitos de frenado, se mantiene adicionalmente la regulación neumática. Pero también ésta puede efectuarse a través de un módulo electrónico de regulación del remolque. La ELB está incorporada en el Controller Area Network (CAN, pág. 800) (figura interconexiones CAN). La ELB aprovecha ventajosamente los datos de otros sistemas para la regulación de la instalación de frenos y da instrucciones a otros sistemas. La seguridad y la densidad de datos llevaron a una CAN propia entre el vehículo de tracción y el remolque, así como también para la instalación de frenos, para la comunicación entre el dispositivo de mando de la ELB y los módulos de regulación de la presión (DRM).

Secuencias del funcionamiento

En la figura "Instalación de frenos de servicio de una ELB" se representa una ELB eléctrica de un circuito con circuito de retención de dos circuitos (1e + 2p) con regulación eléctrica así como también con regulación convencional neumática del remolque. Después de accionar el interruptor de marcha (llave de contacto) es puesta en marcha (iniciada) la ELB y se somete a una autocomprobación. Al no detectarse errores se apagan las luces de alarma y la ELB está lista para el funcionamiento.

La posición del pedal de freno es detectada mediante redundancia eléctrica. Si ambas señales eléctricas son válidas, se realiza un frenado eléctrico. El dispositivo de mando ELB averigua el grado óptimo de presión para cada canal de regulación. A través del CAN de freno se transmiten los

Interconexiones CAN de los componentes de frenos y con otros sistemas del vehículo
(a) *Vehículo de tracción,* (b) *Vehículo remolque*
1, 2, 3 *Estaciones CAN (p.ej. información, chasis, tren de tracción),* 4, 5 *Estaciones CAN (dispositivo de mando de la ELB),* 6 *Estaciones CAN (módulos de regulación de presión ELB),* 7 *Unión de enchufe ISO 7638 (de 7 polos)*



valores a los DRM. Simultáneamente, el valor de freno es transmitido a través del CAN al remolque. Los DRM de los vehículos de tracción y de remolque realizan la regulación. Cada DRM contiene todos los elementos para la regulación de la presión. Las señales de los sensores en el sector de la rueda son transmitidas por el DRM al dispositivo de mando de la ELB a través del CAN de freno. Las rápidas reacciones del sistema, debidas a los DRM colocados en el sector de las ruedas, producen, de forma parecida a como en los automóviles, una sensación de frenado directo.

Los vehículos de remolque con ELB, detrás de vehículos de tracción con uniones de enchufe de ABS (de 5 polos), forman su valor de frenado eléctrico a partir de la presión en la línea de frenado neumática del remolque.

Las válvulas electromagnéticas en el DRM están en posición de reposo, fijadas mecánicamente, cuando el interruptor de marcha (llave de contacto) no está conectado, en el caso de fallo de DRM desconectado o en el caso de una posición del pedal de freno que todavía no provoca un frenado eléctrico. En dicha posición de reposo, los circuitos neumáticos de retención de la válvula electromagnética del freno de servicio dirigen la presión de freno, sin corregirla, hacia los cilindros de freno en las ruedas (= frenado con el circuito de retención).

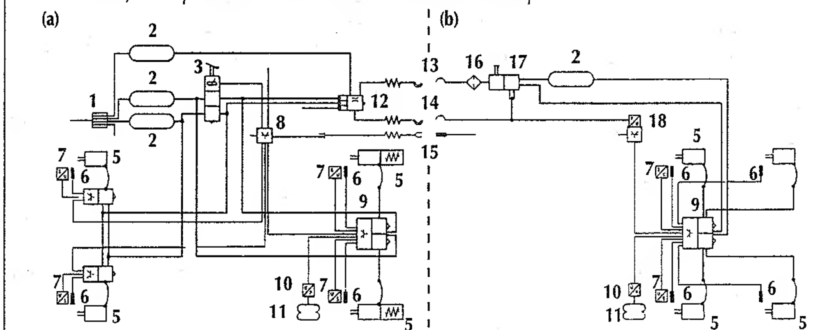
Al poner en marcha el vehículo y resbalar las ruedas se reduce la fuerza de tracción mediante señales de posicionado dirigidas a la administración del motor (regulación ASR del motor), a través del CAN general o bien, de forma óptima, mediante un breve frenado de la rueda resbalante, repartiendo la fuerza a través del diferencial (regulador ASR de frenado).

Características

Todas las ruedas de una combinación de vehículos con ELB frenan de forma sincronizada, se minimizan los golpes, las fuerzas de acoplamiento entre los vehículos son reducidas a una proporción prevista, la temperatura de los frenos y su desgaste son compensados, cuando es necesario se aprovecha hasta el valor límite el accionamiento por fricción, se indican efectos de frenado no admitidos así como también fallos detectados, fallos registrados se pueden leer en el dispositivo de mando de la ELB durante el mantenimiento. La ELB posibilita optimizar los procesos de tracción y de frenado para todas las variantes de equipamiento con el mismo concepto básico de instalación de frenos.

A largo plazo la ELB sustituirá a las versiones estándar de ABS y ASR.

Instalación de frenos de servicio de una ELB
(a) *Vehículo de tracción,* (b) *Vehículo de remolque*
1 *Válvula de protección de cuatro circuitos,* 2 *Deposito de aire,* 3 *Válvula del freno de servicio con transmisor del valor de freno (1e+2p),* 4 *Módulo de regulación de presión (DRM) monocanal,* 5 *Cilindro de freno,* 6 *Sensor de revoluciones,* 7 *Sensor de desgaste de guarnición de freno,* 8 *Dispositivo de mando de la ELB en el vehículo de tracción,* 9 *Módulo de regulación de presión de dos canales (2K-DRM),* 10 *Sensor de presión,* 11 *Fuelle de aire,* 12 *Válvula de regulación del remolque,* 13 *Cabezal de acoplamiento de almacenamiento,* 14 *Cabezal de acoplamiento de freno,* 15 *Unión de enchufe ISO 7638 (de 7 polos),* 16 *Filtro de conducción,* 17 *Válvula de freno del remolque con dispositivo de soltado,* 18 *Dispositivo de mando ELB en el vehículo de remolque*



Bancos de pruebas de frenos

Por su importancia básica desde el punto de vista técnico de la seguridad, las instalaciones de frenos de los vehículos se revisan periódicamente. En las revisiones de los vehículos según el código alemán, así como en los trabajos de inspección en los talleres de la fábrica o de reparación de vehículos, el servicio de reparación de frenos realiza las comprobaciones por regla general en bancos de pruebas de frenos, principalmente bancos del tipo de rodillos, en los que se miden las fuerzas de frenado en la periferia de la rueda, que sirven de base para la evaluación de la capacidad funcional y efectividad de la instalación de frenos. Los bancos de pruebas de frenos que se utilizan para las verificaciones deben satisfacer según el código alemán las "Normas para la utilización, estado y comprobación de bancos de pruebas de frenos", del ministerio federal de transportes.

Construcción

Un banco de pruebas de frenos de rodillos se compone fundamentalmente de dos juegos de rodillos independientes entre sí, para el lado derecho y el izquierdo del banco de pruebas, y el vehículo se hace rodar sobre esos juegos de rodillos, de forma que las ruedas del eje que hay que probar rueden sobre ellos.

El elemento de base de los juegos de rodillos, es un marco estable en el que va montado un rodillo de accionamiento y otro paralelo de rodadura, sobre cojinetes de bolas. Ambos rodillos están unidos entre sí por medio de un accionamiento de cadena. El rodillo de accionamiento es movido a través de unos engranajes reductores por un motor trifásico. La unidad de accionamiento montada "flotante" en la prolongación del árbol del rodillo de accionamiento y apuntalada al marco a través de una palanca embridada a los engranajes sobre un dispositivo de medición de fuerza. La medida de la fuerza de frenado F_{Br} se basa en la medición del momento de reacción M_R. Los motores eléctricos accionan los rodillos motrices con una velocidad periférica determinada y la mantienen también constante cuando a las ruedas del vehículo que giran sobre ellos se les aplica un par de frenado elevado. Ese par de frenado es transmitido a través de la unidad de accionamiento con el brazo de palanca al dispositivo de medición de fuerza. Este dispositivo puede ser como la cápsula manométrica de un sistema hidráulico que actúa directamente sobre un manómetro, cuya escala está calibrada en newtons, y que indica la fuerza de frenado de forma analógica.

Los sistemas eléctricos de medición pueden ser en forma de viga flexible con banda extensométrica o bien con un sensor de anillo inductivo de cortocircuito junto con un muelle telescópico guiado linealmente.

El ulterior procesamiento de los valores de medición con el ordenador se efectúa en estos sistemas de manera que todas las informaciones contenidas en la medición de la fuerza de frenado, tales como las diferencias de fluctuaciones de la fuerza de frenado, son evaluadas e indicadas de forma legible analógicamente o digitalmente y también llevadas a protocolo a través de una impresora conectada.

Función

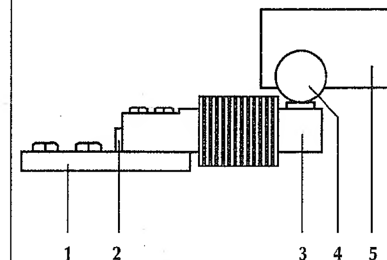
Los motores de accionamiento del juego de rodillos se conectan o bien por mando a distancia o bien por medio del automatismo de conexión y desconexión del banco de pruebas. La característica visible de uno de esos automatismos es el rodillo palpador, dispuesto en forma móvil entre los rodillos de prueba, para cada juego de rodillos. Si este rodillo palpador queda oprimido hacia abajo por las ruedas del vehículo al entrar en el banco de pruebas, se pone en marcha el banco de pruebas. Se vuelve a desconectar automáticamente tan pronto como el vehículo abandona el banco de pruebas Si al frenar, la fuerza de frenado es mayor que la del rozamiento entre los neumáticos y los rodillos de prueba, la rueda empieza a resbalar y se bloquea. Sin embargo, tan pronto como las ruedas resbalan ya no se mide la fuerza de frenado sino la resistencia al resbalamiento que oponen los neumáticos contra los rodillos y por eso las mediciones de la fuerza de frenado con las ruedas patinando no sirven para la comprobación de los frenos.

Estas mediciones erróneas y el posible deterioro de los neumáticos los evita la desconexión automática por resbalamiento. Por medio del número de revoluciones del rodillo palpador se determina el resbalamiento y cuando se sobrepasa un valor máximo prefijado, se desconecta el banco de pruebas.

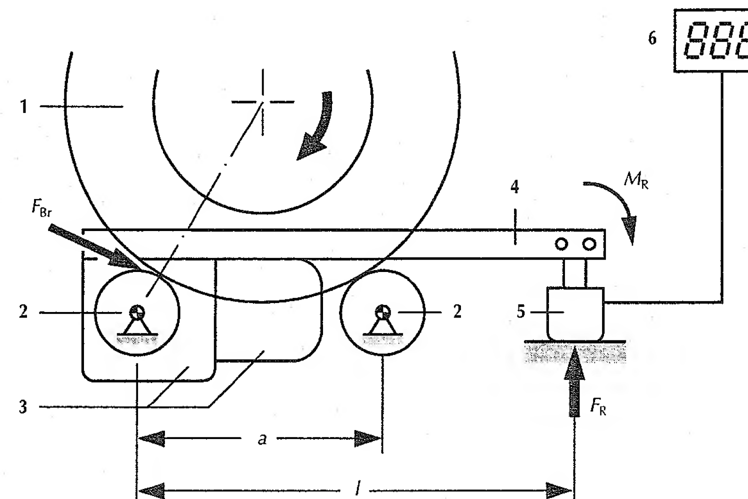
En el instante de la desconexión, el indicador de la fuerza de frenado marca el valor máximo. Un freno indicador en el caso de indicación analógica o un circuito electrónico de memoria, en el caso de indicación digital, hace que este valor permanezca retenido suficiente tiempo para asegurar su lectura.

Por medio del proceso automático en el banco de pruebas de frenos se efectúa el proceso de pruebas de forma muy racional. El verificador puede realizar la totalidad de las pruebas de frenado del eje delantero y trasero sin tener que abandonar el vehículo.

Sensor de valor de medición en el banco de pruebas de frenos
1 Placa de ajuste,
2 Espiga de centrado,
3 Viga flexible con banda extensométrica,
4 Conjunto de empuje
5 Palanca de par de giro



Determinación de la fuerza de frenado F_B, por medición del momento de reacción M_R
1 Neumáticos del vehículo, 2 Par de rodillos a la distancia a, 3 Motor con reductor, 4 Palanca del par de giro de longitd l, 5 Emisor del valor de medida, 6 Aparato indicador



Regulación de la dinámica de marcha (FDR) para automóviles

Magnitudes y conceptos

a	distancia de las ruedas delanteras al centro de gravedad del vehículo
a_x	aceleración longitudinal estimada del vehículo
a_y	aceleración transversal medida del vehículo
A_0, A_1, A_2	constantes para el cálculo del punto de trabajo de los neumáticos
c	distancia de las ruedas traseras al centro de gravedad del vehículo
C_p	relación de transmisión del par de frenado
C_λ	rigidez del neumático en sentido longitudinal
D_T	tiempo del ciclo de regulación
D_l	banda de tolerancias del resbalamiento en la tracción entre las ruedas de tracción
F_B	fuerza de frenado de los neumáticos
F_{BF}	fuerza (filtrada) de frenado estacionario
F_N	fuerza de apoyo del neumático
F_R	fuerza resultante del neumático
F_S	fuerza lateral del neumático
J_{Mot}	momento de inercia del motor
J_{Rad}	momento de inercia de la rueda
K_d, K_p, K_i	factores de amplificación del regulador para las proporciones D, P e I
M_{Dif}	par prescrito de diferencia de las ruedas de tracción
M_{FV}	par de motor indicado por el conductor
M_{SoGi}	par prescrito de giro sobre el eje vertical del vehículo
ΔM_{SoGi}	pequeña variación del par prescrito de giro sobre el eje vertical del vehículo
M_{KaHalb}	medio par del árbol de cardan
M_{Kar}	par del árbol de cardan
M_{Mot}	par real del motor
M_{SoRad}	par prescrito de frenado
M_{SoMot}	par prescrito del motor
$M_{SoSperr}$	par prescrito de frenado en las ruedas de tracción
M_{SoZWV}	par prescrito que debe ser ajustado a través del regulador del ángulo de encencido
p_{Kreis}	presión del circuito ajustada por el conductor
p_{Rad}	presión del cilindro de rueda
p_{RadPre}	presión prescrita del cilindro de rueda
R	radio de la rueda
T_{iAUS}	tiempo de cierre de la inyección
U_{Ge}	relación de transmisión del cambio
U_{Vent}	modo de regulación de válvulas
v_{CH}	velocidad característica del vehículo
v_{Dif}	diferencia de velocidad entre las ruedas de tracción
v_F	velocidad del vehículo
v_{Kar}	velocidad del árbol cardan
v_{Rad}	velocidad medida de la rueda
v_{Rad3}	velocidad medida de la rueda trasera izquierda
v_{Rad4}	velocidad medida de la rueda trasera derecha
$v_{RadFrei}$	velocidad calculada de la rueda (rodando libremente)
v_{SoDif}	diferencia de la velocidad prescrita de las ruedas de tracción
v_{SoKar}	velocidad prescrita del árbol de cardan
v_x	velocidad longitudinal del vehículo
v_y	velocidad transversal del vehículo
x_1, x_2	parámetros del modelo hidráulico
α	ángulo de marcha oblicua del neumático
α_0, λ_0	punto discrecional de trabajo del neumático
β	ángulo de posición del vehículo
β_{So}	ángulo prescrito de posición del vehículo
δ	ángulo de virado de la rueda
δ_R	ángulo de virado de las ruedas delanteras
λ	resbalamiento de los neumáticos
λ_{So}	resbalamiento prescrito de los neumáticos
λ_{MA}	valor prescrito medio del resbalamiento a la tracción de las ruedas motrices
μ_{HF}	índice de fricción de adherencia
μ_{Res}	índice de fricción de adherencia resultante de las estimaciones de fuerzas de rueda
ψ	velocidad de giro sobre el eje vertical
ψ_{So}	velocidad prescrita de giro sobre el eje vertical
m	valor mínimo del par prescrito de frenado de las ruedas motrices
MIN	operador de valor mínimo
SUM	integración regulada por sucesos
ZWV	regulador del ángulo de encendido

Misión

La regulación de la dinámica de marcha FDR es un sistema de regulación dentro del de frenado y del tren de tracción, el cual impide que derrape el vehículo. El ABS evita el bloqueo de las ruedas en el frenado, el ASR el giro resbalante de las ruedas durante la tracción. El FDR garantiza que el vehículo en las maniobras no "empuje" o llegue a perder estabilidad.

El FDR mejora, más allá de las ventajas del ABS y del ASR, la seguridad activa de marcha en los siguientes aspectos:

– ayuda activa del conductor incluso en situaciones críticas en cuanto a la dinámica transversal,

– estabilidad de marcha ampliada; fiabilidad en el mantenimiento de la vía y la dirección en los intervalos marginales en todas las condiciones de servicio tales como frenado a fondo, frenado parcial, rodadura libre, accionamiento y cambios de tracción y de carga.

– estabilidad ampliada de marcha también en maniobras extremas de conducción (reacciones de urgencia y de alarma) y con ello una reducción drástica del peligro de derrape.

– comportamiento mejorado del vehículo también en el intervalo marginal y así es predecible con respecto al horizonte de experiencia del conductor. El vehículo puede ser dominado también en situaciones críticas de tráfico.

– aprovechamiento mejorado del potencial del accionamiento por fricción con ABS/ASR y debido a ello ganancias en los recorridos de frenado y en la tracción así como también mejor gobernabilidad del vehículo.

Conducción del vehículo

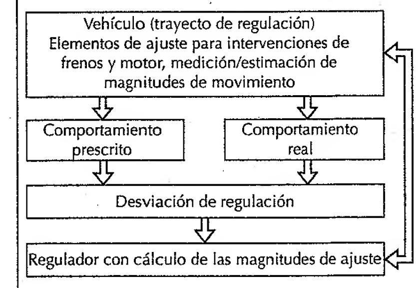
La descripción de la dinámica transversal del vehículo (pág. 342) define el comportamiento de autoconducción del vehículo y representa la dependencia de los ángulos de marcha oblicua α de la aceleración transversal del vehículo α_y y con ello de las fuerzas transversales de los neumáticos. Además la descripción del ABS (pág. 627) y ASR (pág. 574) ya indican la dependencia de las fuerzas transversales del resbalamiento del neumático. De ello se deduce que el comportamiento de autoconducción del vehículo puede ser influenciado conjuntamente por el resbalamiento del neumático. El FDR aprovecha esta característica de los neumáticos para realizar una regulación asistida para la conducción del vehículo.

Para una buena conducción del vehículo es necesario que el vehículo siga una vía de marcha que coincida lo más exactamente posible con el transcurso del ángulo de virado (ver figura "dinámica transversal de un vehículo", curva 2). Esto se obtiene cuando las fuerzas transversales de los neumáticos durante la maniobra quedan claramente por debajo del potencial de accionamiento por fricción de los valores de fricción entre neumáticos y calzada. El desarrollo de la velocidad de giro sobre el eje vertical corresponde al del ángulo de virado.

No obstante, no es suficiente para la FDR regular el movimiento de giro sobre el eje vertical en correspondencia con el ángulo de virado: a pesar de ello el vehículo puede llegar a ser inestable (ver figura, curva 3). Por este motivo la FDR regula ya sea la velocidad de giro sobre el eje vertical, como también el ángulo de asiento.

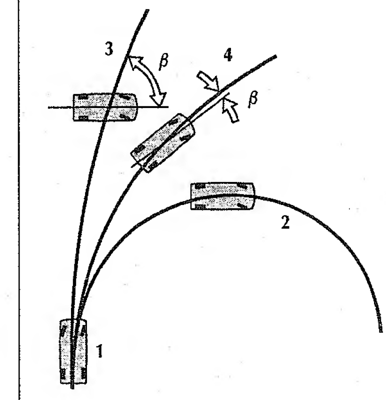
La regulación de la conducción del vehículo de la FDR no está limitada al servicio del ABS y ASR/MSR, sino que también abarca el intervalo en el cual el vehículo rueda libremente y al frenado parcial, donde el vehículo se mueve en los intervalos marginales físicos de la conducción.

Diagrama de bloques del regulador de la FDR (principio)



Dinámica transversal de un vehículo

1 Salto de conducción, ángulo de virado fijo, 2 Vía de marcha sobre calzada adherente, 3 Vía de marcha sobre calzada resbaladiza en salto de conducción "Open-Loop" y con regulación de la velocidad de giro sobre el eje vertical, 4 Vía de marcha sobre calzada resbaladiza con regulación adicional del ángulo de asiento (FDR)



Sistema de regulación de la FDR

Regulación

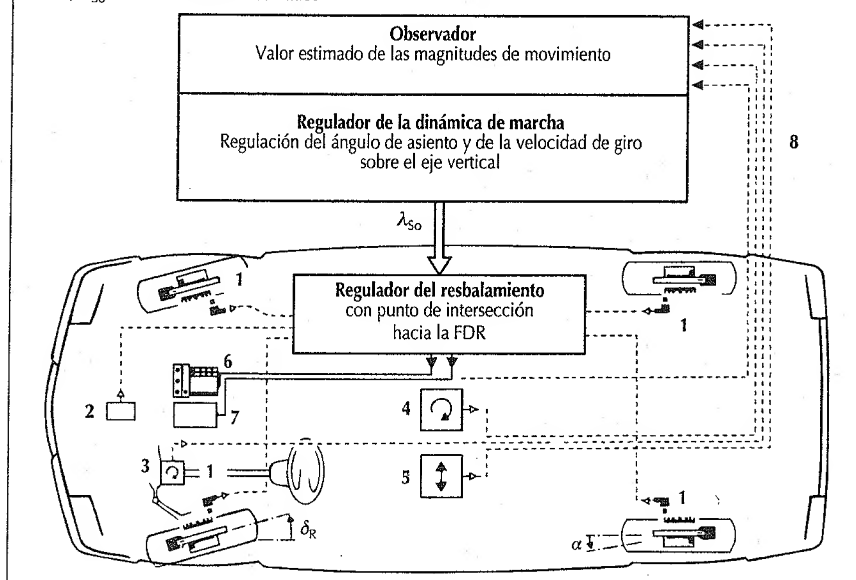
La regulación del comportamiento del vehículo en el intervalo límite debe influenciar a los tres grados de libertad del vehículo en el plano (velocidades longitudinal, transversal y de giro sobre el eje vertical) en el sentido de un comportamiento de marcha adaptado a los deseos del conductor y a la calzada. Para ello debe determinarse primeramente como debe comportarse el vehículo según los deseos del conductor en los intervalos límite (comportamiento prescrito) y como se comporta en la práctica (comportamiento real), tal como se representa en la figura de diagrama de bloques. Para reducir la diferencia entre los comportamientos prescrito y real (desviación de regulación), las fuerzas en los neumáticos deben ser influenciadas de forma apropiada mediante elementos de ajuste.

El sistema completo (figura "Sistema total de regulación") abarca al vehículo como tramo de regulación, los sensores (1 a 5) para la determinación de las magnitudes de regulación de entrada, los elementos de ajuste (6 y 7) para influenciar en las fuerzas de frenado y de accionamiento, así como también al regulador estructurado jerárquicamente, el cual consta de reguladores de la dinámica de marcha de rango superior y del resbalamiento de rango inferior. El regulador de rango superior proporciona valores prescritos para el regulador de rango inferior en forma de resbalamiento prescrito. En el "observador" se averigua la magnitud del estado (ángulo de asiento β).

Para la determinación del comportamiento según valor prescrito, son evaluadas las señales, que describen el deseo del conductor, del sensor de ángulo de virado (3, deseo de conducción), del sensor de presión previa (2, deseo de desaceleración) y de la administración del motor (7, deseo de par de accionamiento). Adicionalmente participan, en el cálculo del comportamiento prescrito, los índices de fricción por adherencia y la velocidad del vehículo, los cuales son estimados de las señales de los sensores de revoluciones de las ruedas (1), del sensor de aceleración transversal (5), del sensor de velocidad de giro sobre el eje vertical (4) y del sensor de presión previa (2). El par de giro sobre el eje vertical, requerido para adaptar las magnitudes de estado real a las del estado prescrito, es calculado en dependencia de la desviación de regulación.

Sistema total de regulación de la FDR

1 Sensores de revoluciones de las ruedas, 2 Sensor de presión previa, 3 Sensor del ángulo de virado, 4 Sensor de la velocidad de giro sobre el eje vertical, 5 Sensor de aceleración transversal, 6 Modulación de presión, 7 Administración del motor, 8 Señales de los sensores para la FDR. α Ángulo de marcha oblicua de los neumáticos, δ_R Ángulo de virado, λ_{So} Resbalamiento del neumático



Para obtener este par de giro sobre el eje vertical, se averiguan en el regulador de la dinámica de marcha las variaciones necesarias prescritas del resbalamiento en las ruedas apropiadas, que se ajustan a través de los reguladores subordinados de frenado y de resbalamiento en la tracción y los elementos de ajuste "hidráulica de frenado" (6) y "administración del motor" (7).

El sistema se basa en componentes probados del ABS y del ASR. El dispositivo ampliado hidráulico del ASR (6), descrito en otro lugar, permite un frenado activo de todas las ruedas con una alta dinámica en todo el intervalo de temperaturas que puedan aparecer y bajo un mantenimiento seguro de la separación de circuitos.

A través de la administración del motor (7) con punto de intersección CAN puede ajustarse el par motor requerido y, con ello, los valores del resbalamiento en las ruedas.

Componentes del sistema

Regulador de la dinámica de marcha

En la marcha constante, así como también en el frenado y en los aceleramientos, el movimiento prescrito se basa en la relación existente, para la marcha en círculo estacionario (pág. 347), entre el ángulo de virado, la velocidad del vehículo y la velocidad de giro sobre el eje vertical. La velocidad prescrita de giro sobre el eje vertical se calcula mediante la ayuda del "modelo de vehículo de una pista de ruedas", basado en la velocidad del vehículo y del ángulo de virado:

$$\dot{\psi}_{So} = \frac{v_x \cdot \delta_R}{(a+c)\left(1+\frac{v_x^2}{v_{CH}^2}\right)}$$

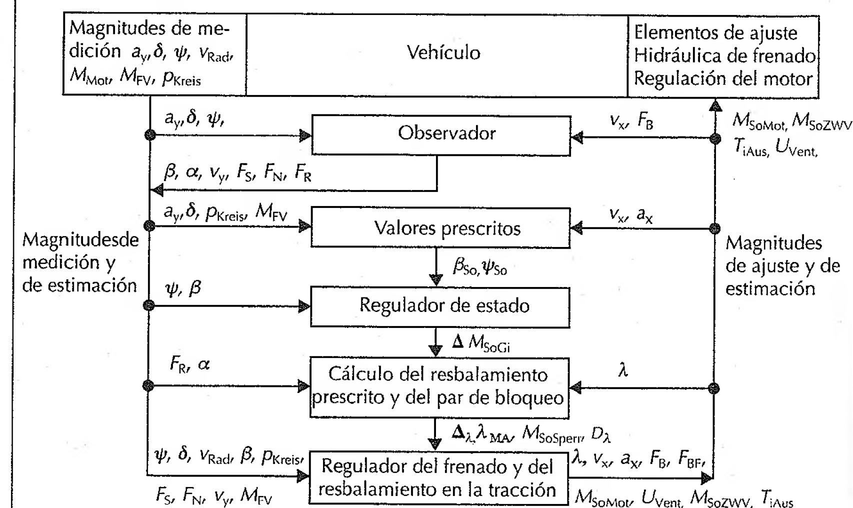
Para la regulación del ángulo de asiento, este valor primeramente es limitado al índice de fricción por adherencia de la calzada:

$$|\dot{\psi}_{So}| \le \mu_{HF} \cdot g/v_F$$

donde g es la aceleración de la gravedad y donde el índice de fricción por adherencia μ y la velocidad del vehículo v_F son valores estimados.

Se renuncia a una influencia directa de la velocidad transversal, y con ello también

Diagrama de bloques del regulador de la dinámica de marcha con magnitudes de entrada y salida



del ángulo de asiento a través de variaciones de las fuerzas laterales. El movimiento transversal se ajusta indirectamente mejor por medio de las variaciones del ángulo de marcha oblicua, induciendo el giro del vehículo por la creación de pares de giro sobre el eje vertical.

La estructura del regulador de la dinámica de marcha se representa de forma simplificada en un diagrama de conexiones de bloques. En el "observador" se averiguan, basándose en modelos de las magnitudes de medición (velocidad prescrita de giro sobre el eje vertical ψ_{So}, ángulo del volante δ y aceleración transversal del vehículo a_y) así como también de las magnitudes de estimación (velocidad longitudinal del vehículo v_x y de las fuerzas de frenado F_B) el ángulo de marcha oblicua α, el ángulo de asiento β y la velocidad transversal del vehículo v_y, así como también las fuerzas en la rueda en dirección lateral y normal F_S y F_N y las fuerzas resultantes en la rueda F_R.

Los valores prescritos para el ángulo de asiento ψ_{So} y la velocidad de giro sobre el eje vertical son determinados de las indicaciones del conductor a través del ángulo del volante δ, el par motor indicado M_{FV} (posición del pedal) y la presión de frenado p_{Kreis}, de la velocidad longitudinal estimada del vehículo v_x y del índice de fricción por adherencia μ_{HF}, que se averigua mediante la aceleración longitudinal estimada y la aceleración transversal estimada. En ello también son considerados el comportamiento de transmisión del vehículo así como también situaciones especiales tales como una calzada inclinada o índices diferentes de fricción (μ-split) por adherencia en los lados del vehículo.

El regulador de la dinámica de la marcha del vehículo es realizado como un regulador del estado de situación. Las magnitudes de estado reguladas son el ángulo de asiento y la velocidad de giro sobre el eje vertical. Al incrementarse los valores del ángulo de asiento, el regulador los tiene en cuenta de forma creciente. Mediante un modelo de vehículo "de dos pistas de ruedas", transformado en modelo lineal, son determinados, con un regulador de estado (regulador Riccati) los refuerzos de reconducción del ángulo de asiento y de las desviaciones de regulación de la velocidad de giro sobre el eje vertical. La magnitud de salida del regulador de estado corresponde a un par de giro sobre el eje vertical M_{SoGi}.

Luego, también mediante el modelo linealizado del vehículo y los valores actuales de resbalamiento λ, las fuerzas resultantes de rueda F_R y los ángulos de marcha oblicua α, este par de giro es transformado en variaciones calculadas del resbalamiento prescrito en las ruedas apropiadas. Por ejemplo, si el vehículo es sobrevirado en una curva hacia la derecha, al rodar libremente y superándose la velocidad de giro sobre el eje vertical, entonces en la rueda delantera izquierda se prescribe un valor de resbalamiento de frenado. Así, una variación del par de giro sobre el eje vertical, que actúa girando el vehículo hacia la izquierda, reduce la velocidad excesiva de giro sobre el eje vertical. El resbalamiento prescrito es variado por los reguladores de rueda subordinados del ABS o ASR. En el caso en que no se frene o cuando la presión de frenado indicada por el conductor no fuera suficiente para ajustar el resbalamiento prescrito deseado (intervalo de frenado parcial), la presión en los circuitos de frenado aumenta activamente.

En el servicio de ASR el regulador de la dinámica de la marcha transmite un valor medio absoluto del valor prescrito de resbalamiento en la tracción λ_{MA} y una banda de tolerancias de resbalamiento en la tracción D_λ, además de un par prescrito de bloqueo de frenos $M_{SoSperr}$, para ajustar el par requerido de giro sobre el eje vertical. Para conseguir mejoras sensibles también para las funciones básicas del ABS y ASR durante el aprovechamiento del potencial de accionamiento por fuerza correspondiente a la situación, todas las magnitudes disponibles de medición y de estimación son aprovechadas también en los reguladores subordinados.

Reguladores de resbalamiento de frenado (ABS) y de par de arrastre de motor (MSR) subordinados

Para la regulación del resbalamiento de las ruedas hacia un valor prescrito indicado, el resbalamiento se ha de conocer suficientemente. La velocidad longitudinal del vehículo no es medida, sino determinada en función de las velocidades de rueda v_{Rad}. Para ello algunas ruedas individuales son

frenadas insuficientemente, es decir que la regulación del resbalamiento es interrumpida, el par de frenado de la rueda reducido de forma definida y mantenido constante durante un tiempo. Bajo la suposición de que la rueda hacia finales de dicho tiempo rueda de forma estable, puede calcularse la velocidad (sin resbalamiento y rodando libremente) de la rueda $v_{RadFrei}$, basada en la fuerza momentánea de frenado F_B y la rigidez del neumático C_λ.

$$v_{RadFrei} = v_{Rad} \cdot \frac{C_\lambda}{c_\lambda - \frac{F_B}{F_N}}$$

La velocidad de la rueda (rodando libremente) determinada en el sistema de coordenadas de la rueda es transformada en el centro de gravedad a través de la velocidad de girado sobre el eje vertical ψ, el ángulo de virado δ_R, la velocidad transversal v_y y la geometría del vehículo, generando la velocidad del centro de gravedad v_x. A continuación v_x es transformada otra vez hacia los cuatro centros de la rueda, para obtener las velocidades (rodando libremente) de las cuatro ruedas. De esta forma puede calcularse también el resbalamiento real de las restantes tres ruedas:

$$\lambda = 1 - \frac{v_{Rad}}{v_{RadFrei}}$$

Partiendo de la fuerza estacionaria de frenado F_{BF}, se forma, correspondientemente la desviación de regulación, el par prescrito en la rueda a través de una ley de regulación PID.

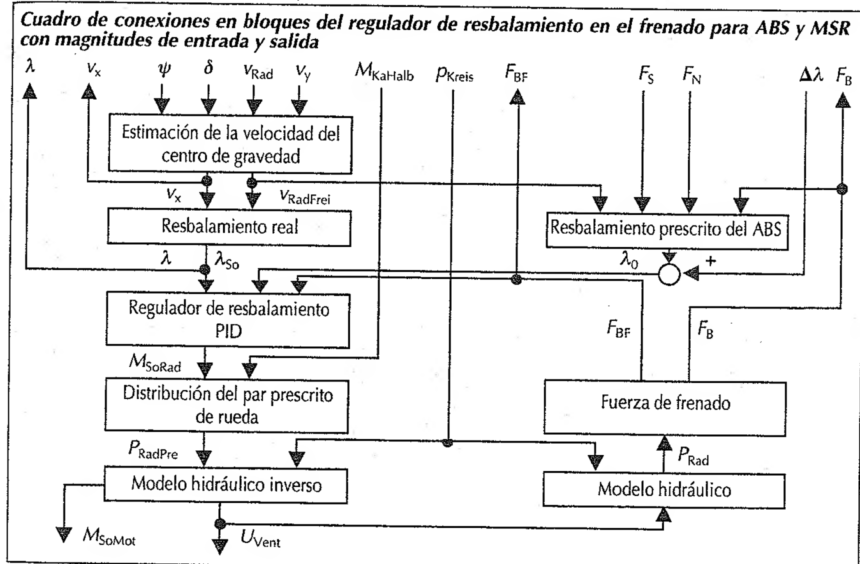
$$\begin{aligned} M_{SoRad} = {} & F_{BF} \cdot R + K_p(\lambda_{So} - \lambda) R \\ & + K_d\left(\frac{d}{dt} v_{Rad} - \frac{d}{dt} v_{RadFrei}\right) \frac{J_{Rad}}{R} \\ & + K_i \cdot C_p \cdot \mathrm{SUM}\{(\lambda_{So} - \lambda) \cdot D_T\} \end{aligned}$$

Para las ruedas motrices el par prescrito de frenado M_{SoRad} puede ser ajustado parcialmente, o en el caso sin frenado, totalmente por el motor, para realizar una regulación por arrastre del motor (MSR). La rueda motriz con el par menor prescrito de rueda es regulada por la intervención del motor dentro de los límites admitidos. En tracción trasera se cumple:

$$M_{SoMot} = -\frac{2m}{\ddot{U}_{Ge}} + \frac{J_{Mot} \cdot \ddot{U}_{Ge}}{R} \cdot \frac{d}{dt} v_x$$

$$m = \mathrm{MIN}\,(M_{SoRad3} \cdot M_{SoRad4})$$

El par prescrito de motor M_{SoMot} es limitado, en valores negativos, por el par máximo de arrastre del motor y, en el caso de ac-



Cuadro de conexiones en bloques del regulador de resbalamiento en el frenado para ABS y MSR con magnitudes de entrada y salida

cionamiento (valores positivos), por el par de accionamiento activo máximo admitido por el fabricante. Para un par positivo prescrito de frenado M_{SoRad} el par eventualmente residual de frenado debe ser ajustado mediante la presión de frenado.

$$p_{RadPre} = \frac{M_{SoRad} + M_{KaHalb}}{C_p}$$

La presión en los cilindros de ruedas p_{RadPre}, exigida por el regulador, es ajustada a través de la hidráulica de frenado y el correspondiente modo de ajuste de las válvulas U_{Vent}. Mediante un "modelo hidráulico inverso", cuyos parámetros x_1, x_2 son determinados previamente y archivados en el regulador, se calcula el tiempo deseado de válvulas. Básicamente el modelo consta del principio de Bernoulli para medios no comprimibles y de una curva característica de presión/volumen.

$$U_{Vent} = \frac{p_{RadPre} - p_{Rad}}{(x_1 + x_2 \cdot p_{Rad})\sqrt{|p_{Kreis} - p_{Rad}|}}$$

$U_{Vent} > 0$ aumento de presión
$U_{Vent} = 0$ mantenimiento de presión
$U_{Vent} < 0$ reducción de presión.

Puesto que el modo de ajuste de válvula U_{Vent} debe limitarse y cuantificarse, hay que calcular la presión real p_{Rad} mediante el modelo hidráulico. Si se conoce la presión de rueda y las velocidades de ruedas están medidas, pueden determinarse, a través del equilibrio de los pares en la rueda, la fuerza real de frenado F_B y la fuerza estacionaria de frenado F_{BF}:

$$F_B = C_p \cdot \frac{p_{Rad}}{R} - \frac{M_{KaHalb}}{R} + \frac{J_{Rad}}{R^2} \cdot \frac{d}{dt} v_{Rad}$$

$$F_B = T_i \cdot \frac{d}{dt} F_{BF} + F_{BF}$$

La fuerza estacionaria (filtrada) de frenado F_{BF} sirve ahora como magnitud de referencia del regulador PID. Del punto de trabajo λ_0 calculado y de la variación de resbalamiento indicada por el regulador de la dinámica de marcha, el regulador ABS calcula el resbalamiento prescrito de neumático λ_{So} que debe ajustarse.

$$\lambda_0 = A_0 \cdot \mu_{Res} + \frac{A_1}{v_{RadFrei}} + A_2$$

$$\mu_{Res} = \frac{\sqrt{F_B + F_S}}{F_N}$$

Regulador del resbalamiento en la tracción (ASR)

El regulador del resbalamiento en la tracción se utiliza solamente en la tracción trasera. Las influencias activas en las ruedas delanteras las determina directamente el regulador de resbalamiento de frenado. Contrariamente al ABS, el regulador de resbalamiento en la tracción obtiene del regulador de la dinámica de marcha, como magnitudes guía, el valor prescrito medio de resbalamiento en la tracción λ_{MA} de ambas ruedas motrices y un par prescrito de frenado $M_{SoSperr}$ para la influencia directa sobre el par de giro sobre el eje vertical. El valor prescrito para la diferencia de velocidad de las dos ruedas motrices v_{SoDif} es la diferencia de sus velocidades de rueda (rodando libremente), donde el regulador de la dinámica de marcha proporciona adicionalmente una banda de tolerancias D_λ para la diferencia de los dos valores de resbalamiento en la tracción, la cual representa una zona muerta para la desviación de regulación, para que pueda ser formado un par de bloqueo $M_{SoSperr}$.

El módulo ASR calcula los pares prescritos de frenado M_{SoRad} para las dos ruedas motrices, el par prescrito del motor M_{SoMot} para la influencia sobre la válvula de estrangulamiento, el valor prescrito M_{SoZWV} para la reducción del par motor a través de la regulación del ángulo de encendido ZWV, así como también, opcionalmente, el número de cilindros y el tiempo T_{iAUS} para el cual se ha de cerrar la inyección.

Los valores prescritos para las velocidades diferenciales del árbol de cardan y de las ruedas (v_{SoKar} y v_{SoDif}) son formados con los valores prescritos de resbalamiento y las velocidades de ruedas (rodando libremente) $v_{RadFrei}$. Las magnitudes de regulación v_{Kar} y v_{Dif} son calculados a partir de las velocidades de rueda v_{Rad3} y v_{Rad4}:

$$v_{Kar} = \frac{1}{2}(v_{Rad3} + v_{Rad4})$$

Con tracción trasera:

$$v_{Dif} = v_{Rad3} - v_{Rad4}$$

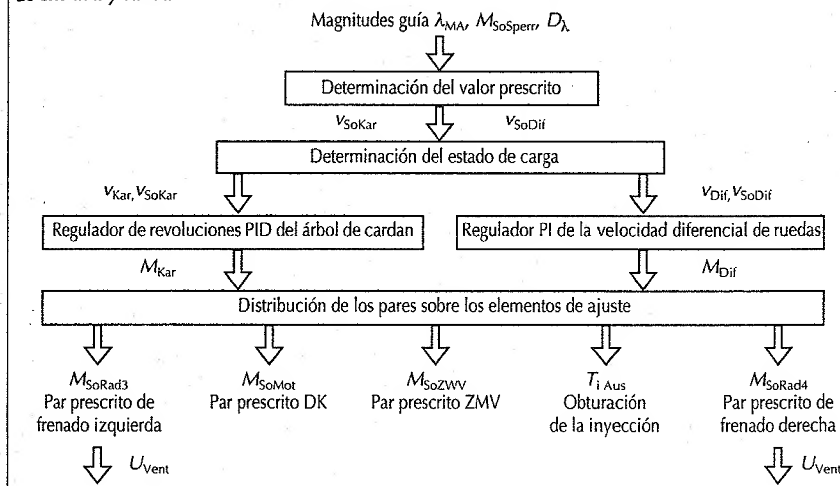
La dinámica depende de condiciones muy diferentes de servicio del intervalo de regulación. Por ello se determina el estado de servicio, para poder adaptar los parámetros de regulación a la dinámica del intervalo y a las no linealidades.

Sobre la velocidad del árbol de cardan v_{Kar} actúa el momento de inercia de todo el tren de accionamiento (motor, cambio, árbol de cardan, ruedas motrices). Por ello la velocidad del árbol de cardan es descrita por una constante de tiempo relativamente grande (dinámica reducida). Por el contrario, la constante de tiempo de las ruedas motrices v_{Dif} es relativamente pequeña porque la dinámica de v_{Dif} es determinada casi exclusivamente por los momentos de inercia de las dos ruedas. Además v_{Dif} no es influenciado directamente por el motor, tal como sucede con v_{Kar}. Como magnitudes de regulación se utilizan v_{Kar} y v_{Dif}, porque permiten el desglose apropiado del sistema acoplado de dos magnitudes (velocidades medidas de rueda trasera izquierda v_{Rad3} y trasera derecha v_{Rad4}) en dos sistemas parciales con diferente dinámica y con influencias del motor de fuerzas diferentes. Las influencias del motor y las proporciones "simétricas" de la influencia del freno son las magnitudes de ajuste del regulador para la velocidad del árbol de cardan v_{Kar}. La proporción "asimétrica" de la influencia del freno es la señal de ajuste del regulador para la velocidad diferencial de las ruedas v_{Dif}.

La velocidad del árbol de cardan es regulada por un regulador no lineal PID, donde en especial el refuerzo de la parte "I" (dependiente del estado de servicio) varía en un intervalo amplio. La parte "I" es estacionariamente la medida para el par posible de ser transmitido a la calzada. La salida del regulador es el par del árbol de cardan M_{Kar}.

Para la regulación de la velocidad diferencial de las ruedas v_{Dif} se encarga un regulador PI no lineal. Los parámetros de regulación son independientes de la posición de marcha y de influencias del motor. De la banda de tolerancias D_l, proporcionada por el regulador de la dinámica de marcha, se calcula una zona muerta para la desviación de regulación. En el caso de "μ-split" el regulador de la dinámica de marcha indica una zona muerta relativamente estrecha, para asegurar la tracción, aumentando con ello la sensibilidad del regulador para la velocidad diferencial de ruedas v_{Dif}. Con una influencia sobre el par prescrito de bloqueo de frenado $M_{SoSperr}$ o con regulación optativa Select-Low, el regulador de la dinámica de marcha indica una banda de tolerancias ancha, de manera que el regulador para la velocidad diferencial de las ruedas v_{Dif} admite diferencias mayores de velocidades en las ruedas tra-

Diagrama de conexiones de bloques del regulador de resbalamiento en la tracción con magnitudes de entrada y salida



seras. La salida del regulador es el par prescrito de diferencia M_{Dif}.
El par del árbol de cardan M_{Kar} y el par prescrito de velocidad diferencial M_{Dif} son distribuidos sobre los elementos de ajuste.
El par prescrito diferencial M_{Dif} es ajustado por la diferencia de los pares de frenado entre las ruedas motrices derecha e izquierda, a través de un modo correspondiente de regulación de válvula U_{Vent} en el dispositivo hidráulico. El par prescrito del árbol de cardan es aportado por las influencias sobre el motor, así como también por una influencia simétrica de frenado. La influencia de la válvula de estrangulamiento sólo es eficaz con gran retraso (tiempo muerto y comportamiento de transición del motor). Como influencia rápida del motor se utiliza una variación hacia detrás del ángulo de encendido y, opcionalmente, cierre de la inyección. La influencia simétrica del frenado sirve en ello como ayuda transitoria breve de la reducción del par motor.
En este módulo el regulador del resbalamiento en la tracción puede ser adaptado con relativa facilidad a los diferentes tipos de influencias de motor.

Ejecución del sistema

El dispositivo hidráulico y los sensores de revoluciones se prestan para las condiciones del compartimiento del motor. Para el montaje en el habitáculo o en el maletero se prevén los sensores de cuotas de revoluciones, de aceleración transversal, del ángulo del volante y el dispositivo de mando. Como ejemplo se representa el montaje de los componentes en el vehículo con sus conexiones eléctricas y mecánicas.

Tecnología de sensores

La configuración de los puntos de acoplamiento es influenciado fuertemente por la necesidad y las posibilidades de supervisión de los puntos de acoplamiento, la cual puede realizarse de forma efectiva y económica mediante dispositivos de mando modernos (Sensores, pág. 102).
Los requisitos de los sensores fueron averiguados mediante la evaluación de estudios de simulación y amplios ensayos de marcha. Igualmente fueron analizadas las repercusiones de los efectos secundarios (influencias de las tolerancias de la posición de montaje, acoplamientos cruzados y demás fallos de sensores) en el funcionamiento de la FDR. De ello resulta una red muy densa de vigilancia, la cual abarca los aspectos de la redundancia analítica. Esta es una premisa básica para dominar sistemas complejos de relevancia en la seguridad, con respecto a la fiabilidad requerida, si por motivos de coste hay que renunciar a sensores redundantes.

Dispositivo de mando

El dispositivo de mando, construido de forma convencional de tecnología de placas conductoras (cuatro capas), además de los dos procesadores parcialmente redundantes, comprende todos los accionadores para la regulación de las válvulas y lámparas, los relés de semiconductores para la regulación de las válvulas y bombas, así como también las conexiones de interfase para el procesamiento de señales y las correspondientes entradas para señales adicionales, tales como interruptores de las luces de freno y otros. Además se ha integrado un punto de acoplamiento CAN para la comunicación con otros sistemas (p.ej. administración del motor y mando del cambio). Para mantener pequeño el cárter, debido al gran número de conexiones adicionales de señales, el dispositivo de mando dispone de una unión especial de enchufe.

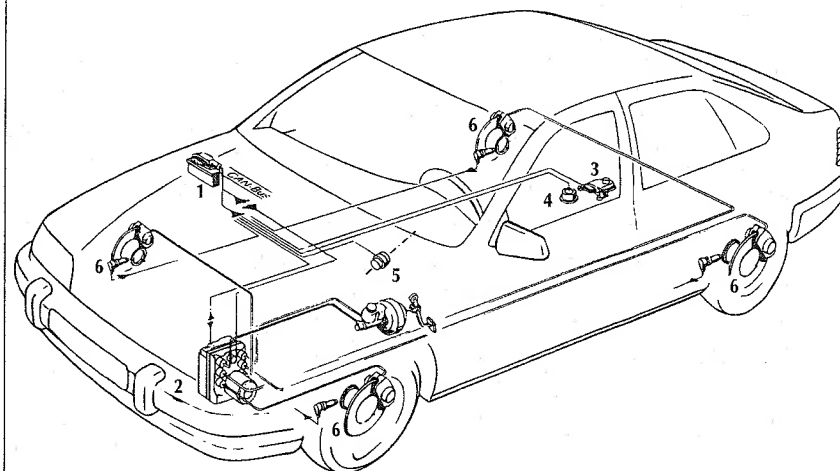
Sistema de vigilancia

Para el funcionamiento seguro de la FDR es de importancia fundamental un sistema impecable de aseguramiento de la calidad. Abarca un sistema global incluyendo todos los componentes con todos los efectos recíprocos. Por ello un sistema de seguridad fue elaborado, desde niveles tempranos de desarrollo, como un proyecto interdisciplinario de desarrollo con métodos de técnicas de seguridad como FMEA, ETA y estudios de simulación de fallos. De ello se han deducido medidas para evitar fallos, con efectos importantes en la seguridad que se llevaron a la práctica tras varias modificaciones, primariamente por optimización de la concepción, la construcción y la fabricación de los componentes. Así pudieron eliminarse o reducirse drásticamente en su probabilidad de acontecimiento las

fuentes de fallos. Amplios programas de vigilancia aseguran que todos los fallos imposibles de evitar sean reconocidos con seguridad. Base de ello son los programas informáticos de seguridad probados en el ABS y el ABS/ASR, los cuales vigilan a todos los componentes conectados al dispositivo de mando, sus conexiones eléctricas, señales y funciones. Esta base ha sido mejorada mediante el aprovechamiento consecuente de los sensores adicionales y adaptándola a los componentes adicionales, las funciones adicionales de la FDR.
Los sensores son vigilados en varios niveles:
En un primer nivel los sensores son vigilados, durante todo el tiempo de servicio, en cuanto a rotura de línea o comportamiento de señales no plausible (out-of-range-check, reconocimiento de dispersión, plausibilidad física).
En el segundo nivel los sensores más importantes son comprobados activamente. El sensor del giro sobre el eje vertical es comprobado mediante un desajuste activo del elemento sensor y la posterior evaluación de la señal de respuesta. El sensor del ángulo del volante, con "inteligencia local", tiene funciones propias de supervisión y proporciona un aviso propio de fallo al dispositivo de mando. Adicionalmente se vigila constantemente la transmisión digital de datos al dispositivo de mando.
En un tercer nivel se efectúa la supervisión de los sensores durante todo el funcionamiento estacionario mediante "redundancia analítica", comprobándose mediante un cálculo de modelo, si las relaciones entre las señales de los sensores, determinadas por el movimiento del vehículo, no son vulneradas. Los modelos también son aprovechados para calcular los "offsets" de los sensores, que aparecen dentro de las especificaciones de los sensores, y luego compensarlos.
En el caso de fallo, y según sea el tipo de fallo, el sistema se desconecta parcial o totalmente. El tratamiento del fallo también depende si la regulación es activa o no.

Sistema de FDR con conexiones eléctricas y mecánicas en el vehículo

1 Dispositivo de mando (FDR/ABSW/ASR), 2 Sistema hidráulico con sensor de presión de freno, 3 Sensor de velocidad de giro, 4 Sensor de aceleración transversal, 5 Sensor de ángulo del volante, 6 Sensores de número de revoluciones de las ruedas



Sistematización de los vehículos

Vehículos de carretera	Definición, ejemplos
Vehículos a motor	Vehículo de carretera accionado por motor
Motocicletas	Vehíc. de una vía con 2 ruedas, y event. sidecar
Motos	Con comp. del vehíc. fijos en el sector de las rodillas (p.ej. depósito)
Scooter	Sin comp. sólidos del vehíc. en el sector de las rodillas
Bicicletas con motor aux.	Con características de bicicletas (moped, mofa)
Coches	Vehículos a motor de dos o más vías
Turismos	Para máx. 9 personas
Limusina	Carrocería cerrada, máx. cuatro puertas
Limus. con techo corredizo	Techo posible de abrir, laterales fijos
Limusina Pullman	Habitáculo prolongado, máx. 6 puertas laterales
Cupé	Carrocería cerrada, máx. dos puertas laterales
Descapotable	Carroc.abierta, event. techo corredizo, 2 o 4 puertas
Familiar	Habitáculo prolongado con superficie interna de carga
Combinado industrial	Furgoneta
Vehículo especial	Ambulancias, vehículo camping
Vehículo multiuso	Todo terreno, gran capacidad
Vehículos industriales	Transporte de personas y mercancías
Omnibuses	Transporte de más de 9 personas y equipaje
Autobús pequeño	Máx. 17 personas
Autobús de línea	Tráfico de línea urbano y de perif., plazas sentadas y de pie
Autocares interurbanos	Tráfico de línea interurbano, sin plazas de pie especiales
Autoc. de largo recorrido	Largo recorrido, sin plazas de pie
Trolebuses	Accionam. eléct., corriente de accionam. desde línea aérea
Autobús articulado	Vehículo de dos partes, móviles en ángulo y con pasadizo
Bus especial	Carrocerías especiales, p.ej. para minusválidos, presos
Camiones	Transporte de mercancías
Camiones multiuso	Camiones con caja abierta o cerrada
Camiones especiales	Transporte de mercancías espec. (p.ej. camión cisterna) o para usos especiales (p.ej. grúa de remolcado)
Tractores	Vehículos industr. para la tracción de vehículos remolque
Máquina de tracción de remolque	Conducción de remolques, mercancías sobre la superf. aux.
Máq. semirremolques	Conducción de semirremolques / Máquina de tracción, también para empujar,
Tractor	Llevar o accionar aperos intercambiables
Vehículo remolque	Vehículo de carretera no automotor
Remolque articulado	
Remolque de barra de tracción rígida	
Remolque de eje central	
Semirremolque	
Remolque de carga	
Remolque de autocar	
Caravana	
Remolque especial	
Combinación de vehículos	Vehículos de motor con remolque
Tren de turismo	Turismo con remolque
Tren de autocar	Autocar con remolque
Tren de camión	Camión con remolque
Tren de máquina tractora	Máquina tractora con remolque
Vehículo semirremolque	Vehículo tractor con semirremolque
Tren semirremolque	Vehículo semirremolque con remolque
Tren de puente	Camión o máq. tractora con remolque especial (vehíc. seguidor). La carga establece la unión entre ambos vehíc.

Subdivisión en clases[1]

Clase L

Vehículos de menos de 4 ruedas, motocicletas, triciclos

Graduación	Tipos de construcción	Cilindrada	Veloc. max
L_1	De dos ruedas	≤ 50 cm³	≤ 40 km/h
L_2	De tres ruedas	≤ 50 cm³	≤ 40 km/h
L_3	De dos ruedas	≥ 50 cm³	> 40 km/h
L_4	De tres ruedas asimétricas con respecto al eje longitudinal del vehículo	> 50 cm³	>40 km/h
L_5	Triciclo Simétrico con respecto al eje longitudinal vehículo	> 50 cm³ ≤ 1t Peso total	> 40 km/h

Clase M

Vehículos destinados al transporte de personas con como mínimo 4 ruedas o con 3 ruedas y un peso total inferior a 1 t.

Graduación	Asiento conductor + plazas	Peso total
M_1	1 ≤ 9	
M_2	> 9	< 5t
M_3	> 9	> 5t

Clase N

Destinados al transporte de mercancías con por lo menos 4 ruedas o con 3 ruedas y un peso total mayor que 1 t.

Graduación	Peso total
N_1	≤ 3,5 t
N_2	> 3,5 t ≤ 12 t
N_3	> 12 t

Clase O

Remolques y semirremolques.

Graduación	Peso total
O_1 sólo remolques de un eje	≤ 0,75 t
O_2	≤ 3,5 t
O_3	> 3,5 t ≤ 10 t
O_4	> 10 t

[1] La división en clases de acuerdo con la normativa de la Comunidad Europea (71/320/CEE) según la regulación ECE Nº 13 en lo que se refiere al equipo de frenos.

Carrocería de los turismos

Dimensiones principales

Medidas del espacio interior

La concepción dimensional depende del tipo de carrocería, tipo de tracción, periferia del conjunto, tamaño deseado del habitáculo, volumen del portaequipajes y condiciones marginales tales como comodidad, seguridad y servicio. Las posiciones de los asientos se determinan según los conocimientos ergonómicos y con ayuda de plantillas (DIN o SAE): plantillas que delimitan el cuerpo según DIN 33 408, para hombres 5, 50 y 95%, para mujeres 1, 5 y 95%. La plantilla del 5% representa, por ejemplo, el tamaño de cuerpo "pequeño", es decir, sólo el 5% tienen unas medidas del cuerpo más pequeñas y el 95% las tienen mayores.

Las plantillas SAE según SAE J 826b, segmentos de muslo y pantorrilla en tamaños 10, 5O y 95%. Como requisito legal para varios países se exige que el constructor del vehículo emplee las plantillas SAE para fijar el punto de referencia del asiento. La plantilla de la forma del cuerpo DIN 33 408 se presta especialmente bien para la disposición dimensional de los asientos y los espacios de los ocupantes.

El punto de la cadera (punto H) es el de intersección del torso con la línea media del muslo y corresponde aproximadamente al punto de articulación de la cadera. El punto de referencia del asiento (Seating Reference Point, ISO 6549 y legislación de EE.UU.) o el punto R (ISO 6549 y normas de la CEE) da la posición en los asientos regulables del punto H de la construcción, en la posición más hacia atrás normal del asiento del conductor. Para ello, por parte de muchos fabricantes de vehículos se utiliza la posición del hombro del 95% o en el caso de que la última no sea alcanzada, entonces se utiliza la posición del asiento más hacia atrás que se puede regular. Para comprobar la posición del punto H medido relativo al vehículo se utiliza un aparato de medición tridimensional de un peso de 75 kg. El punto de referencia del asiento, el punto del talón, la distancia vertical y horizontal entre ambos, así como el ángulo del cuerpo fijado por el fabricante del vehículo constituyen el fundamento tridimensional para la disposición del asiento del conductor.

Partiendo del punto de referencia del asiento,

- se definen las posiciones de la elipse ocular (SAE J941) y de los puntos oculares (RREG 77/649) como base para la determinación de la visión directa del conductor;
- se fijarán las superficies envolventes que describen el espacio al alcance, para la posición de las piezas de maniobra y mando;
- se fijará el punto del talón ("Accelerator Heel Point" - AHP) como punto de referencia para la disposición de los pedales.

Para la fijación de las proporciones del asiento trasero (Punto de referencia alto del asiento, espacio del asiento trasero, espacio para la cabeza), y para ello, el contorno interno del techo en su parte trasera, influye la necesidad de espacio del eje trasero, así como la posición del depósito de combustible y su forma. Según el tipo de vehículo a desarrollar y las medidas de los ocupantes exigidas, se obtienen los diferentes ángulos del cuerpo de las plantillas SAE y las distancias de los puntos de referencia del asiento del conductor y del asiento trasero.

La altura del asiento influye mucho en las medidas longitudinales. Una altura baja precisa de una posición más estirada del asiento de los ocupantes y con ello una mayor longitud del habitáculo.

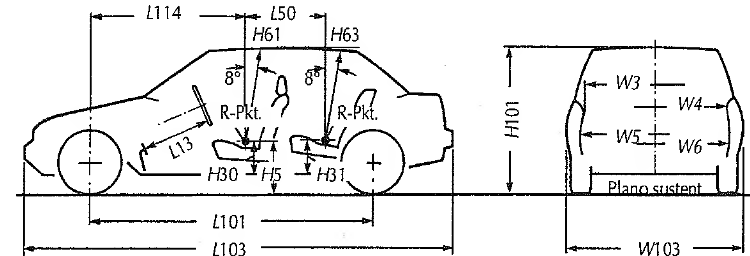
La anchura del habitáculo depende de la anchura exterior planificada de la forma lateral ("caída"), de los mecanismos de las puertas y de la necesidad de espacio de los conjuntos (puente del eje, disposición de la instalación del tubo de escape, etc.).

Medidas del portaequipajes

El tamaño y la forma dependen de la construcción de la parte trasera del vehículo, de la posición del depósito de combustible, del emplazamiento de la rueda de recambio y del alojamiento del silencioso principal.

La capacidad se determina según DIN ISO 3832, y más comúnmente, según el método VDA con el módulo VDA (un paralelepípedo de 200 x 100 x 50 mm, que equivale a un volumen de 1 dm^3).

Medidas interiores y exteriores típicas *(según Normas VDA 239–01)*



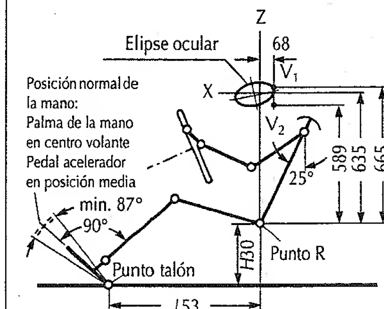
Cota			Coches peq. mm.	Clase super. mm.
H	5	Punto R hasta plano sustentación delante	460	510
H	30	Punto R hasta punto talón delane	240	300
H	31	Punto R hasta punto talón detrás	300	310
H	61	Espacio para cabeza efecivo delante	940	980
H	63	Espacio para cabeza efectivo detrás	920	950
H	101	Altura del vehícuo	1360	1400
L	13	Del volante al pedal de freno	480	630
L	50	Distancia entre pruntos R (asientos del. y tras.)	710	830
L	101	Distancia entre ejes (batalla)	2430	2880
L	103	Longitud total del vehículo	3840	4930
L	114	Del centro rueda delantera al punto R	1250	1590
W	3	Espacio para hombros delante	1310	1430
W	4	Espacio para hombros detrás	1290	1420
W	5	Espacio para caderas delante	1260	1430
W	6	Espacio para caderas detrás	1240	1470
W	103	Ancho total del vehículo	1620	1820

Medidas exteriores

Hay que tener en cuenta:

- La concepción del asiento y del portaequipajes.
- El motor, el cambio y el radiador.
- Los conjuntos auxiliares y los montajes especiales.
- Las necesidades de espacio de las ruedas amortiguadas o viradas del todo (suplemento para cadenas para la nieve).
- El tipo y tamaño del eje de tracción.
- La posición y volumen del depósito de combustible.
- Los parachoques delantero y trasero.
- Las consideraciones aerodinámicas
- La altura libre sobre el suelo (aprox. 100 a 180 mm),
- La influencia de la anchura de construcción en la instalación de los limpiaparabrisas (ADR 16, FMVSS 104).

Párametros fundamentales para la plaza del conductor de un turismo



Condiciones de visibilidad

Hay que buscar la combinación entre las condiciones óptimas de visibilidad y la colocación funcional de los componentes que actúan contra la visibilidad. Las magnitudes influyentes son:

- Ocultación de la visibilidad por montantes, techo, capó del motor y capó trasero. Las bases para el enjuiciamiento del campo de visión son: la elipse ocular según SAE J 941 o los "puntos oculares" según RREG 77/649[1].
- Disposición, tamaño y forma del espejo retrovisor según RREG 79/795.
- Campo barrido por los limpiaparabrisas según FMVSS 104[2] y RREG 78/318.
- Proporción de curvatura del parabrisas.
- Visibilidad de los instrumentos (visibilidad tapada por el volante, ADR 18 A[3]).

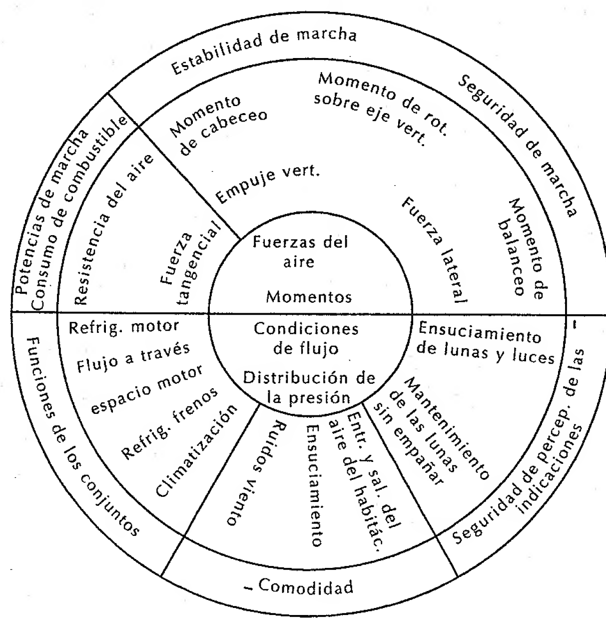
Diseño

Para el diseño de las formas interiores y exteriores deben tenerse en cuenta las siguientes exigencias técnicas:

- Funciones mecánicas (deben poder bajarse los cristales laterales, abrir el capó del motor, el capó trasero, los techos corredizos, posición de las luces).
- Posibilidad de fabricación y facilidad de reparación (anchos de los espacios libres, montaje de la carrocería, forma de las lunas, cintones protectores contra golpes, aristas de deposición de pintura).
- Seguridad (posición y forma de los parachoques, ninguna arista ni puntas vivas).
- Aerodinámica (resistencia del aire, ensuciamiento de la carrocería, ruidos provocados por el viento, aberturas para entrada y salida de aire, funcionamiento del limpiaparabrisas).
- Óptica (distorsión por el tipo e inclinación de las lunas, deslumbramiento por reflexión).
- Exigencias legales (posición y tamaño de las luces, espejo retrovisor, señales indicadoras).
- Forma y disposición de los elementos de servicio (posición, forma, superficie).
- Visibilidad general (para estacionar).

(1) Normas del Consejo de la Comunidad Europea.
(2) Federal Motor Vehicle Safety Standard (EE.UU.).
(3) Australian Design Rule.

Influencias aerodinámicas en las funciones del vehículo



Aerodinámica

Se ocupa de todos los procesos que circundan y transcurren alrededor de un vehículo.

Resistencia del aire: $W = c_W \cdot A v^2 \cdot \frac{\rho^2}{2}$

donde c_W, coeficiente de resistencia del aire,
A, superficie de la sección,
v, velocidad de marcha,
ρ, densidad del aire.

Los factores que debe considerar el fabricante son el coeficiente de resistencia al aire c_W, como medida de la calidad de la forma aerodinámica, y la superficie A proyectada del vehículo.

Tabla 1. Valores de c_W para diferentes vehículos

Vehículo (Ejemplos)	c_W –	A m²
Audi A8	0,28	2,25
Porsche 911	0,33	1,86
Mercedes C 200 D	0,30	2,05

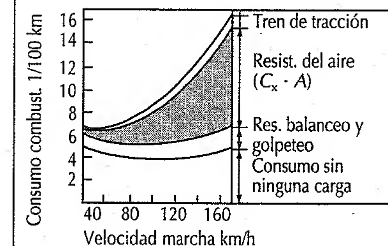
Carece de utilidad el dar unos datos generales para reducir el coeficiente c_W por medio de medidas particulares tales como spoilers, revestimientos de fondos, etc., ya que estos dependen de las condiciones aerodinámicas iniciales del vehículo. Se encuentran ejemplos del orden de magnitud en la tabla). Las concepciones modernas de los vehículos contienen ese tipo de componentes en forma optimizada. Por tal motivo apenas si se mejora el valor de c_W y del coeficiente de sustentación modificando montajes. A menudo esas modificaciones conllevan limitaciones de la idoneidad para el uso diario, debido a ángulos menores de derrame o menores distancias al suelo. Los accesorios montados adicionalmente son más embellecedores que mejoras técnicas.

Se consiguen modificaciones del coeficiente c_W por medio de medidas particulares aerodinámicas o de concepción. Si el aire atraviesa el vehículo o las aberturas en el techo siempre empeoran el coeficiente c_W (– mejora, + empeora). Ejemplos de ello se dan en la siguiente tabla 2.

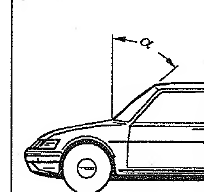
Tabla 2. Valores c_W para modificaciones de vehículos

Influencia de	Δc_W %
Disminuir la alt. sobre el suelo 30 mm	aprox. –5
Tapacubos lisos	–1...–3
Neumáticos anchos	+2...+4
Lunas exteriores	aprox. –1
Estanquidad de ranuras	–2...–5
Revestimientos de fondos	–1...–7
Faros abatibles	+3...+10
Espejos exteriores	+2...+5
Paso del aire por el radiador y el espacio del motor	+4...+14
Refrigeración de los frenos	+2...+5
Aireación del habitáculo	aprox. +1
Ventanillas abiertas	aprox. +5
Techo corredizo abierto	aprox. +2
Transp. en techo de una tabla de surf	aprox. +40

Influencia de $c_W \cdot A$ en el consumo de combustible (vehículo de clase media)



Influencia de la inclinación α del parabrisas en el coeficiente c_W
(– Mejoramiento, + Empeoramiento)



α	c_X	ΔC_X %
50°	0,345	–
55°	0,342	–0,8
65°	0,340	–1,4
40°	0,349	+1,1
30°	0,349	+1,1
0°	0,369	+7,0

Construcción de la carrocería

Carrocería autoportante
(tipo de construcción normal)
Consta de cuerpos huecos de chapa y de láminas que se unen en instalaciones de soldadura por puntos múltiples o por robots de soldadura.

Según el tipo se necesitan aproximadamente 5000 puntos de soldadura a lo largo de 120 a 200 m de borde de chapa. La anchura del solape suele ser de 10 a 18 mm. Las piezas incorporadas (guardabarros delanteros, puertas, capó del motor, y capó del portaequipajes) van atornilladas al cuerpo de la carrocería. Otros tipos de construcción son los bastidores y las construcciones sándwich.

Especificaciones generales:

Rigidez
Debe ser la máxima posible con respecto a la flexión y la torsión, para mantener pequeñas las deformaciones elásticas en las aberturas de las puertas y los capós. Deben ser tenidas en cuenta las influencias de la rigidez de la carrocería en las características vibratorias.

Características vibratorias
Las vibraciones de la carrocería así como las particulares de algunos componentes a consecuencia de los impulsos de las ruedas, su suspensión, el motor o el tren de tracción, pueden perjudicar notablemente la comodidad del viaje, sobre todo si se produce resonancia.

La frecuencia propia de la carrocería y de sus componentes susceptibles de vibración deben adecuarse mediante acanaladuras, variaciones del espesor de pared y de las secciones transversales, de modo que las resonancias y sus consecuencias se reduzcan al mínimo.

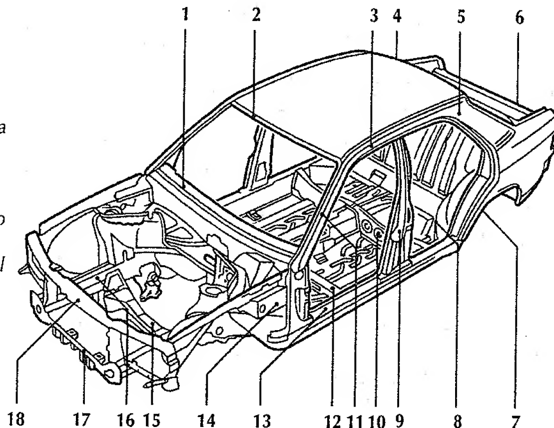
Resistencia en servicio
Los esfuerzos alternativos a que está sometida la carrocería con el vehículo en marcha, pueden llegar a provocar grietas en el bastidor o el fallo de puntos de soldadura. Las zonas especialmente amenazadas son los puntos de apoyo del tren de rodaje, la dirección y el conjunto de tracción.

Esfuerzos en los accidentes
En los choques la carrocería debe estar en condiciones de convertir la máxima cantidad de energía cinética en trabajo de deformación, sin que el habitáculo se deforme significativamente.

Reparaciones sencillas
Las zonas más expuestas en los pequeños golpes tienen que poderse reparar o cambiar fácilmente (accesibilidad a las chapas exteriores desde dentro, accesibilidad a los tornillos, posición favorable de los puntos de unión, bordes marcados para los parches de pintura).

Carrocería autoportante

1 *Travesaño debajo del parabrisas*
2 *Marco delantero del techo*
3 *Marco lateral del techo*
4 *Marco trasero del techo*
5 *Montante C*
6 *Pieza central de la cola*
7 *Suelo portaequipajes y hueco rueda de recambio*
8 *Larguero trasero*
9 *Montante B*
10 *Travesaño debajo del asiento trasero*
11 *Montante A*
12 *Travesaño debajo del asiento del conductor*
13 *Larguero lateral*
14 *Montaje de rueda*
15 *Travesaño del motor*
16 *Larguero delantero*
17 *Travesaño delantero*
18 *Travesaño del radiador*



Materiales de las carrocerías

Chapas de acero
Para la construcción de la carrocería se utilizan corrientemente chapas de acero de diferentes calidades (tabla en la pág. 195).

Los gruesos de chapa de carrocería van de 0,6 a 3 mm; la parte principal la componen chapas de 0,75 a 1,0 mm. Como material para las carrocerías autoportantes, el acero no ha podido ser substituido hasta hoy por otros materiales por la serie de sus características mecánicas referentes a rigidez, resistencia y conformación plástica, así como por su precio.

Las chapas de acero microaleado de alta resistencia (HSLA: High Strength Low Alloy) se utilizan para las piezas estructurales altamente solicitadas. Su elevada resistencia permite la reducción del grueso de chapa.

Aluminio
Con miras a reducir el peso se puede utilizar el aluminio para piezas de montaje en la carrocería, tales como capó del motor, capó del portaequipajes, etc. Los costes claramente superiores con respecto a la chapa de acero impiden su utilización en los vehículos de serie.

Para un vehículo de serie de la clase alta se utiliza, desde 1994, una carrocería de aluminio. La construcción del bastidor se efectúa con perfiles de extrusión de aluminio, las partes de chapa se integran con función portante (ASF Audi Space Frame). Su realización exige el empleo de aleaciones apropiadas de aluminio, nuevos procedimientos de producción y dispositivos especiales de reparación. Según indicaciones del fabricante, las características de deformación y de rigidez son equivalentes, si no superiores, a las del acero.

Plásticos
Para substituir el acero se han introducido los plásticos en piezas del montaje como puede verse en el cuadro que sigue.

Tabla 3. Ejemplos para la utilización de materiales alternativos

Ejemplos de aplicación	Material	Símbolo	Procedimiento de elaboración
Piezas portantes: p.ej. soporte de flexión de parachoques	Termoplásticos reforzados con tejido de vidrio	PP-GMT	Proyección a presión
Piezas de revestimientos/escudos: p.ej. faldones delanteros, spoilers, morro delantero, parrilla del radiador, tapacubos embellecedores Componentes en bruto p. ej.: capó del motor, guardabarros, capó del portaequipajes, techos corredizos	Termoplásticos reforzados con tejido de vidrio	PP-GMT	
	Poliuretano	PUR	RIM (Reaction Injection Moulding) RRIM (Reinforced Reaction Injection Moulding)
	Poliamida Polipropileno Polietileno Copolímeros de Acrilo-nitrilo-estirol Policarbonato (con poli-butilen-tereftalato)	PA PP PE ABS PC	Moldeo por inyección El contenido de fibra de vidrio determina la elasticidad
Cintones elásticos contra golpes	Clorito de polivinilo Ter-polímeros de etileno-propileno Polipropileno elastomérico modificado	PVC EPDM PP-EPDM	Moldeo por inyección/extrusión
Espuma absorbente de energía	Poliuretano Polipropileno	PUR PP	Espumado por reacción

Superficie de la carrocería

Protección contra la corrosión
La protección contra la corrosión ya debe planearse en la construcción de la carrocería ("Anti Corrosion Code", Canadá). Medidas:
– Reducir al mínimo las uniones de pletinas, los cantos vivos y las esquinas.
– Evitar lugares de deposición de suciedad y humedad
– Prever agujeros para la preparación y pintado por electroinmersión.
– Asegurar el tratamiento de protección contra la corrosión por medio de una buena accesibilidad.
– Posibilitar la ventilación de los cuerpos huecos.
– Evitar en lo posible la penetración de suciedad y del agua, prever aberturas de drenaje del agua.
– Mantener pequeñas las superficies de ataque de los golpes de piedras y proyección de grava.
– Evitar la corrosión por contacto.
Para las piezas especialmente amenazadas, como por ejemplo, puertas y montantes de la parte delantera, se utilizan a menudo chapas con recubrimientos (pintura con polvo de cinc, cincado electrolítico, cincado al fuego). Las pletinas especialmente expuestas a corrosión se recubren antes de montarlas con pasta de soldadura por puntos (PVC o adhesivo epóxido, por cada vehículo aprox. 10 a 15 m de longitud de cordón).

Pintura (Pág. 222)
Medidas después del pintado por electroinmersión:
– Tapar los cordones de soldadura por puntos (hasta 115 m), las ranuras y los pliegues con pasta de sellado de PVC.

Tabla 4. Espesores de pintura

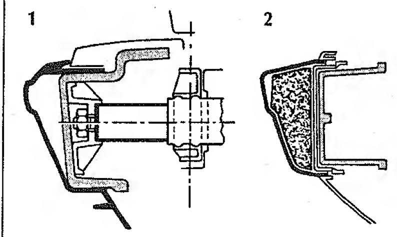
Aporte de pintura, grueso total	140...160 µm
Recubrimiento de fosfato de cinc Electroinmersión (catódica) Imprimación Pintura final de cubrimiento	≈ 2 µm 13 ... 18 µm ≈ 40 µm 35 ... 48 µm
Barniz transparente (sólo en metalizados)	40 ... 45 µm

– Pintado de protección de los bajos contra el daño producido por los golpes de las piedras, con PVC (0,3 a 0,8 mm de grueso, de 10 a 18 kg según vehículo).
– Conservación de los cuerpos huecos con cera penetrante y resistente al envejecimiento.
– Colocación de piezas de montaje de plástico resistentes a la corrosión en zonas muy amenazadas, por ejemplo, las cajas de rueda delanteras (allí sobrará el PVC).
– Conservación de los bajos y del espacio del motor después del montaje final.

Accesorios de la carrocería

Parachoques
La carrocería debe estar protegida por delante y por detrás de forma que los golpes a poca velocidad no perjudiquen al vehículo. Los ensayos prescritos para los parachoques (US-Part 581 y ECE-R 42, por ahora no obligatorias) dan las especificaciones mínimas de la capacidad de absorción de energía así como la altura de montaje del parachoques (rebote contra una barrera a 4 km/h, ensayo del péndulo a 4 km/h). Los ensayos de los parachoques según US-Part 581 deben realizarse con un sistema de parachoques cuyo absorbente de energía se regenere automáticamente. Para cumplir la norma ECE bastan elementos portantes con posibilidad de deformación plástica dispuestos entre el parachoques (barra de choque) y la estructura del vehículo. Como semielaborados para el parachoques, además del acero, se utilizan los perfiles de aluminio y sobre todo los plásticos reforzados con fibra.

Parachoques
1 Sistema amortiguador de rebote, 2 Sistema de espuma de PUR absorbente de energía



Piezas del revestimiento exterior, cintones protectores
Como material para los cintones protectores, las piezas de revestimiento, los delantales y los spoilers que quedan al exterior, y que especialmente deben mejorar la aerodinámica del vehículo, se han impuesto los plásticos. Los criterios que intervienen para la elección del material, son la flexibilidad, la conservación de la forma con el calor, el coeficiente de dilatación lineal, la resiliencia, la resistencia al rayado y a los ataques químicos, la calidad de superficie y capacidad de adherencia de la pintura.

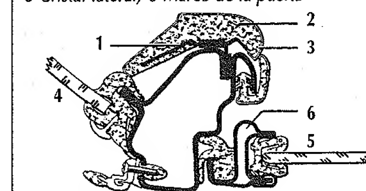
Cristales
El parabrisas y la luneta suelen fijarse por medio de perfiles de goma y se estanquizan o pegan firmemente.
El peso de los cristales por vehículo es de 25 a 35 kg. Como substitutivo del vidrio, el plástico (PC, PMMA) para reducir el peso todavía no se ha impuesto por sus distintos inconvenientes. Para los cristales en las puertas se emplean también cristales dobles para el aislamiento térmico y acústico.

Cerraduras de puertas
Tienen gran importancia para la seguridad pasiva contra accidentes (p ej. prescripciones CEE-R 11, FMVSS 206):
– la posición completamente bloqueada y semibloqueada,
– que no se escape con una fuerza longitudinal inferior a 12 kN, ni transversal inferior a 10 kN (posición totalmente bloqueada)
– que no se abra con aceleraciones longitudinales ni transversales de hasta 30 · *g*
Diferentes exigencias de los fabricantes con respecto a facilidad de accionamiento, seguro antirrobo, seguro para los niños.

Instalación de asientos
Las exigencias de resistencia de los asientos contra las colisiones del vehículo se refieren a su armazón (asiento y respaldo), el apoyacabezas, la regulación del asiento y sus anclajes (p ej. FMVSS 207, 202; CEE-R 17,25; RREG 74/408, 78/932). Una componente de la seguridad activa es la comodidad del asiento. La meta de la concepción del asiento es que los ocupantes del vehículo con diferentes medidas corporales puedan descansar cómodamente.
Parámetros:
– Acción de apoyo de las diferentes zonas del cuerpo (reparto de la presión).
– Apoyo lateral para las curvas en marcha.
– Acondicionamiento climático del asiento.
– Libertad de movimientos para variar la postura del cuerpo sin variar la posición del asiento.
– Características de vibración y amortiguamiento (adecuación de la frecuencia propia de la banda de frecuencias excitadoras).
– Capacidad de regulación del asiento, del respaldo y del apoyacabezas.
Tienen influencia sobre ello:
– Las medidas y formas del acolchado de los asientos y de los respaldos.
– La distribución de los muelles en los distintos acolchados.
– La fuerza total de los muelles y la capacidad de amortiguamiento, sobre todo del asiento.
– La conductividad calorífica y la capacidad de captación de humedad de las fundas y del acolchado.
– El accionamiento manual y el margen de regulación del asiento.

Piezas de revestimiento del habitáculo
Una pieza de revestimiento consta en principio de un núcleo de forma estable (chapa de acero o de aluminio o de plástico) con elementos de fijación, un acolchado de material de espuma absorbente de energía (por ejemplo, PUR) y una capa superficial flexible (por ejemplo, de tela de PVC o de ABS). También existen revestimientos de plástico de una sola pieza tales como los de termoplástico de fundición por inyección.
El revestimiento interior del techo se hace con moqueta o con material prefabricado. Los materiales utilizados deben ser difícilmente inflamables y de velocidad de combustión lenta (FMVSS 302).

***Sección a través del montante A con revestimiento** (principio)*
1 Núcleo, 2 Espuma, 3 Hoja de tela, 4 Parabrisas, 5 Cristal lateral, 6 Marco de la puerta



Seguridad

Seguridad activa:
Evitar accidentes
Seguridad pasiva:
Disminución de las consecuencias del accidente

Seguridad activa

Seguridad de marcha es el resultado de una concepción armónica del chasis desde el punto de vista de la guía de las ruedas, la suspensión, la dirección y los frenos, que se manifiesta en el comportamiento dinámico óptimo del vehículo.

Seguridad de condición como consecuencia de la menor carga psicológica de los ocupantes del vehículo por vibraciones, ruidos e influencias climáticas se aporta mucho a la reducción de la probabilidad de errores de conducción en el tránsito.

Las vibraciones en el intervalo de frecuencias de 1 a 25 Hz (golpeteos, movimientos vibratorios), excitadas por las ruedas y los grupos del accionamiento, pasan a los ocupantes a través de la carrocería, del asiento y del volante de dirección. Según su sentido, amplitud y duración se notarán como una carga más o menos fuerte.

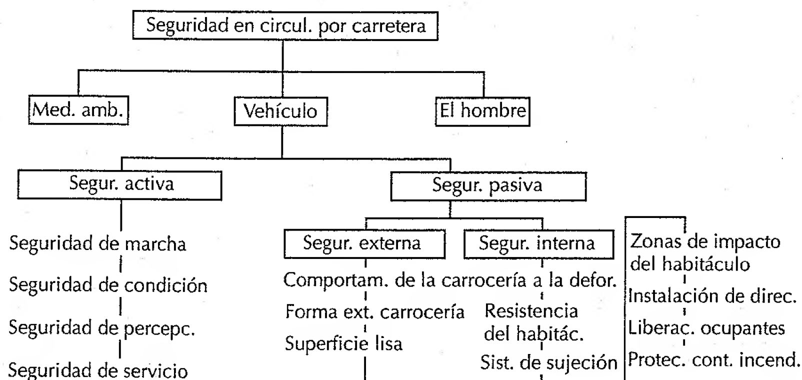
Los ruidos como perturbaciones acústicas en el vehículo pueden ser de origen interno (motor, cambio, cardan, ejes) o externo (neumáticos/calzada, viento) y se traducen como ruidos del aire o de la carcasa. La intensidad del sonido se mide en dB (A> (véase también la pág. 62 y sig.).

Las medidas para disminuir el ruido tienen como meta por un lado el desarrollo de dispositivos poco ruidosos o el aislamiento de las fuentes de ruidos (por ejemplo, encapsulado del motor) y por otro lado la amortiguación de los ruidos por medio de esteras amortiguadoras o materiales antirresonantes.

Las influencias climatológicas son principalmente la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y la presión atmosférica (para más datos véase la pág. 356 y sig.).

Seguridad de percepción
Las medidas para elevar la seguridad de percepción se concentran en:
- Dispositivos de iluminación (pág. 700)
- Dispositivos de advertencia acústicos (página 726)
- Visión directa e indirecta (pág. 682).(Visión del conductor: el ángulo de ocultación abarcado por los montantes A para ambos ojos del conductor —visión binocular— no debe ser superior a 6 grados.)

Seguridad de servicio
Para causarle al conductor el mínimo esfuerzo posible y aumentar al máximo la seguridad de conducción, todos los elementos de mando deberían ser alcanzables y posibles de accionar de forma óptima desde la ubicación del conductor.



Seguridad en la circulación por carretera. *Conceptos y factores de influencia*

Seguridad pasiva

Seguridad exterior
El término "seguridad exterior" comprende todas las medidas referentes al vehículo, que son apropiadas para mantener al mínimo posible la gravedad de las lesiones de los involucrados en un accidente ajenos al vehículo (peatones y conductores de vehículos de dos ruedas). Los factores que influyen son:
- El comportamiento a la deformación de a carrocería.
- La forma exterior de la carrocería.

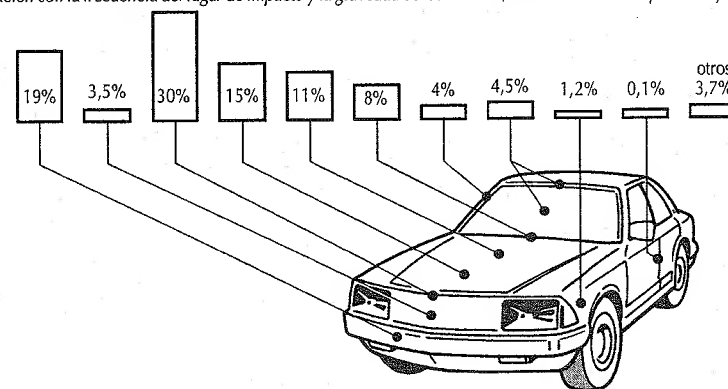
La meta primordial es que las consecuencias de la colisión primaria (choque de los participantes exteriores con el vehículo) se atenúen al máximo por medio de la forma apropiada de las posibles zonas de contacto.

Las heridas más graves las sufren los peatones por choque con la parte frontal del vehículo, por lo que el desarrollo del accidente depende mucho del tamaño del cuerpo. Las consecuencias de los choques entre vehículos de dos ruedas y turismos, a causa de la energía propia que suele intervenir, de la posición elevada del asiento y de la gran diversidad de los puntos de contacto, apenas puede influirse en ellas por medidas que se tomen en el vehículo. Las medidas que se pueden realizar son:
- Faros delanteros desplazables
- Limpiaparabrisas rehundidos
- Canales para la lluvia rehundidos
- Manecillas de las puertas rehundidas.

Véase también la ECE-R 26, RREG-74/483.

Seguridad interior
La "seguridad interior" comprende las medidas técnicas sobre el vehículo, cuyo fin es mantener bajas las aceleraciones y fuerzas que actúan sobre los ocupantes en caso de accidente, para asegurar un amplio margen de supervivencia y que las piezas necesarias para la liberación de los ocupantes permanezcan funcionales aún después del accidente.
Medidas de protección de los ocupantes:
- Comportamiento a la deformación (carrocería).
- Resistencia del habitáculo, tamaño del espacio de supervivencia durante y después del impacto.
- Sistema de sujeción.
- Zonas de colisión (espacio interior).
- Sistema de dirección.
- Liberación de los ocupantes.
- Protección contra incendios.

Leyes para la seguridad interna (choque frontal):
- Desplazamiento de la posición del volante hacia atrás (FMVSS 204, ECE-R 12, RREG 74/297).
- Protección contra accidentes de los ocupantes, especialmente los sistemas de sujeción (FMVSS 208, criterios sobre lesiones).
- Fijación del parabrisas (FMVSS 212).
- Penetración de piezas de la carrocería por el parabrisas (FMVSS 219).
- Tapas de cierre de casilleros de objetos (p.ej. guanteras, etc.)(FMVSS 201).



Peligro para los peatones en las colisiones con turismos,
en relación con la frecuencia del lugar de impacto y la gravedad de las heridas (246 colisiones entre peatones y turismos)

Comportamiento de la carrocería a la deformación

A causa de la frecuencia de las colisiones frontales tiene mucha importancia el ensayo de colisión frontal, prescrito por la ley, con una velocidad de 48,3 km/h (ó 30 mph) contra una barrera rígida, vertical o inclinada hasta 30°.

Como el 50 % de las colisiones frontales tiene lugar principalmente en la mitad frontal izquierda del vehículo, hay algunos fabricantes que realizan el choque frontal desplazado a la izquierda, cubriendo del 30 al 50 % del ancho del vehículo.

En una colisión frontal, la energía cinética es absorbida por la deformación del parachoques, del morro y, en casos graves, también por la zona delantera del habitáculo (zona de la pared frontal). Los ejes, las ruedas (llantas) y el motor limitan la longitud de la deformación. Para pequeñas aceleraciones del habitáculo son ya necesarias, no obstante, longitudes de deformación y conjuntos desplazables apreciables. Según la concepción del vehículo (forma de la carrocería, tipo de tracción y posición del motor), masa y dimensiones, se producen deformaciones permanentes de 0,4 a 0,7 m en la parte frontal, chocando de frente a aprox. 50 km/h contra una barrera. Por lo general, el habitáculo debe permanecer intacto. Esto concierne fundamentalmente a:

– La zona de la pared frontal (desplazamiento de la instalación de dirección, panel de instrumentos, pedales, contracción del espacio para los pies).

– El suelo (hundimiento o inclinación de los asientos).

– La pared lateral (abertura de las puertas después del accidente).

Las mediciones de las aceleraciones y la observación de las películas a cámara lenta permiten analizar exactamente el comportamiento a la deformación. Muñecos de diferentes tamaños simulan a los ocupantes del vehículo y proporcionan los datos de aceleraciones de la cabeza y el pecho, así como las fuerzas sobre los muslos.

De la aceleración de la cabeza resulta el coeficiente de carga "HIC" (Head Injury Criterion). La comparación de los valores obtenidos de las mediciones con muñecos con los valores límite admisibles según la FMVSS 208 (HIC para la cabeza 1000, aceleración del pecho 60 g/3 ms, fuerza sobre los muslos 10 kN), sólo permite unas predicciones limitadas.

La colisión lateral como segunda más frecuente, entraña un elevado riesgo de lesiones, provocado por la limitada capacidad de absorción de las piezas de la estructura y del revestimiento y las grandes deformaciones que de ello resultan en el habitáculo.

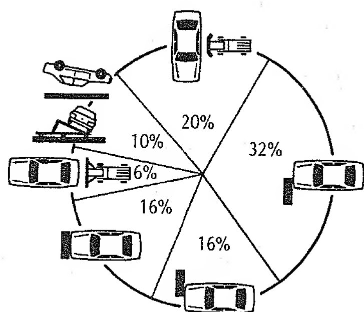
Influye especialmente en el riesgo la resistencia de la estructura de la pared lateral (unión de los montantes con las puertas, ensambles de aquellos por arriba y por abajo), la capacidad de carga de los travesaños del piso y del asiento, y también el tipo de revestimiento interior de la puerta (FMVSS 214, proyecto ECE).

En el ensayo de colisión trasera no debe producirse apenas deformación del habitáculo, o ninguna, las puertas se tienen que seguir poder abriendo, la arista del capó del maletero no debe penetrar en el espacio interior a través de la luneta, y la instalación del combustible debe permanecer estanca.

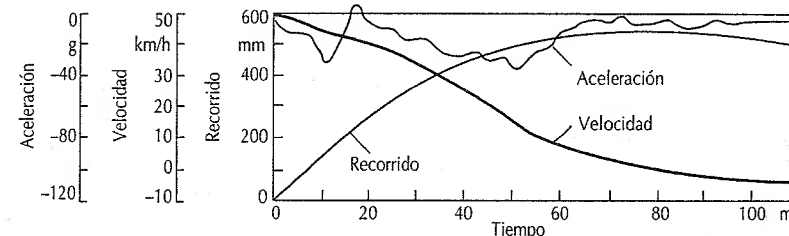
Con los ensayos de vuelco (Roll-Over Tests) y los casi estáticos de hundimiento del techo (FMVSS 216), se estudian las estructuras de los techos.

Por lo menos un fabricante somete a los vehículos al ensayo de caída sobre el techo, para comprobar la resistencia de forma de su estructura de techo (espacio de supervivencia) bajo condiciones extremas (el vehículo cae desde 0,5 m de altura y pega con la esquina izquierda delantera del techo).

Distribución de accidentes según tipos de colisión, *simbolizados por dispositivos de ensayo equivalentes*



Aceleración, velocidad y recorrido de un habitáculo en un choque a 50 km/h contra una barrera



Instalación de dirección

Las especificaciones legales (FMVSS 203 y 204) regulan el recorrido de desplazamiento máximo del extremo superior de la columna de dirección hacia atrás (máx. 127 mm, en choque frontal a 48,3 km/h) y el límite de la fuerza de impacto de un cuerpo de prueba sobre la instalación de dirección (máx. 1111 daN en un choque a 24,1 km/h). La parte inferior del eje de la columna de dirección será deformable, tanto longitudinal como transversalmente, y será entre otras cosas, de tubo ondulado, tubo perforado y elementos de empalme.

Sistemas de retención de los ocupantes
(Pág. 753)

Cinturón automático (sistemas manuales)

El cinturón de tres puntos con dispositivo de enrollado ("cinturón automático"), que es el que más se instala, representa un buen acuerdo entre efectividad de seguridad y comodidad de colocación y uso, así como de coste. Al llegar el vehículo a una determinada desaceleración se bloquea el tambor de enrollado por medio de un sistema de bloqueo rápido incorporado.

Sistemas de tensado del cinturón

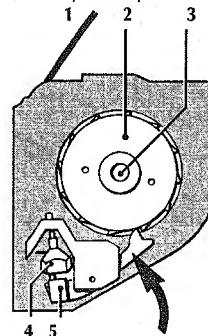
Los sistemas de tensado del cinturón son una ampliación y mejora de los sistemas de cinturón automático de tres puntos. Reducen en los accidentes importantes el desplazamiento excesivo hacia adelante de los ocupantes por reducción de la carrera del cinturón sin retención. Con ello se reduce también la diferencia de velocidad entre la del vehículo y la del ocupante, así como la carga sobre éste.

Bolsa de aire (Airbag) (Sistemas automáticos)

El sistema de bolsa de aire sirve para evitar o reducir el impacto contra partes del habitáculo (volante, panel de instrumentos, puertas, montantes).

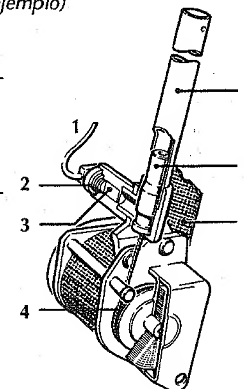
Principio de bloqueo de un cinturón de seguridad automático

1 Cinturón, 2 Rueda de bloqueo, 3 eje de arrollamiento, 4 Péndulo, 5 Trinquete (en posición de bloqueo)



Principio constructivo del tensor del cinturón de seguridad *(ejemplo)*

1 Del sensor
2 Disparador
3 Conjunto de accionamiento
4 Cable
5 Cilindro
6 Pistón
7 Banda del cinturón



Cálculo

Método de los elementos finitos

Las características estáticas, dinámicas, así como acústicas de los componentes, así como también de la totalidad de la carrocería, se pueden calcular por el método de los elementos finitos. Se basa en la idea fundamental de descomponer cualquier sistema portante complicado en elementos estructurales sencillos (vigas, cubiertas y elementos de volumen), cuyos comportamientos elásticos son conocidos y fáciles de formular matemáticamente. Estos bloques estructurales (elementos), después de ser evaluados con respecto a sus condiciones de carga se integran todos en la estructura total.

Con ello es posible construir un cuerpo modelo que describa suficientemente bien el cuerpo real en cuanto a sus propiedades elásticas. Para el cálculo por elementos finitos se dispone de múltiples sistemas (p.ej., PERMAS, NASTRAN, ABAQUS, DYNA3D).

Ventajas del método de elementos finitos (FE):
- posibilidad de tratar estructuras de cualquier grado de complicación,
- tener en cuenta características de materiales anisótropos y no lineales,
- rápido análisis de variantes y
- disponibilidad de sistemas de programas comprobados (integración en la cadena CAD/CAM)

Límites del método FE:
- la exactitud depende del tipo de elementos y de la finura de la subdivisión de los elementos,
- no se consideran variaciones de espesor de las chapas y de los valores característicos que se producen en el proceso de embutición,
- las uniones por soldaduras no se pueden precisar de forma exacta.

Cálculo de la carrocería total

Según sea el problema a resolver, la estructura de la carrocería es subdividida en la finura deseada (nivel de 1995: hasta aprox. 100 000 elementos con más de 600 000 incógnitas). Como resultados bajo carga estática resultan, entre otros, deformaciones, tensiones y trabajos de cambio de formas.

Cálculo de la resistencia

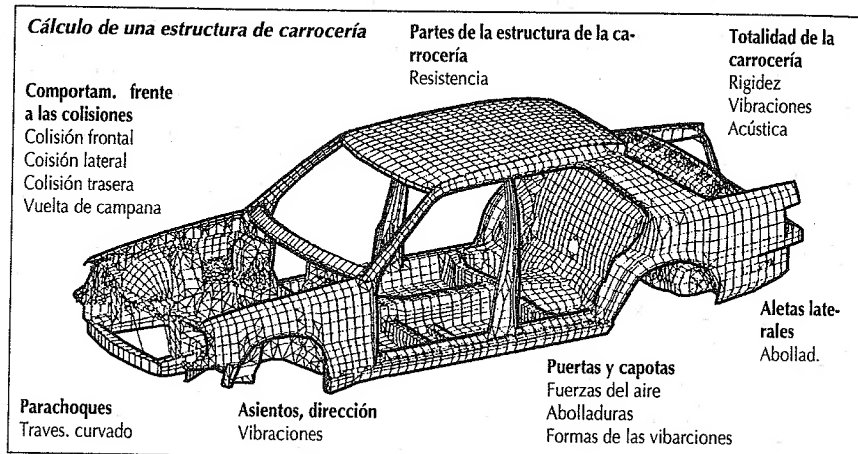
Se realizan análisis detallados para componentes individuales y para sectores de la carrocería que estén expuestos a cargas especiales, tal como p.ej. se producen con sistemas de sujeción o cargas colgantes. La meta de estos estudios es la de probar una resistencia suficiente o la de reducir tensiones que sean inadmisibles.

Cálculo del comportamiento dinámico

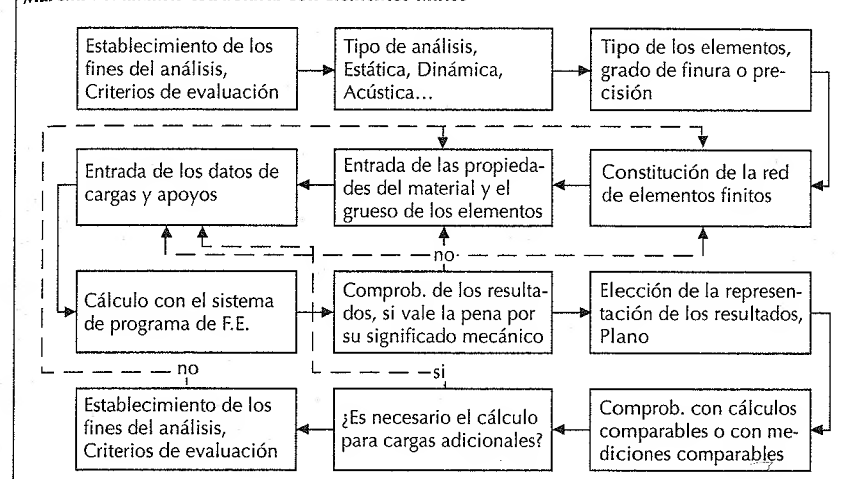
Tanto para la carrocería total como para los distintos componentes individuales, se realizan análisis dinámicos con los que se determinan el comportamiento de oscilaciones propias (frecuencias, formas de las oscilaciones) y la respuesta del sistema a excitaciones periódicas o dependientes del tiempo en general. Con ello se identifican resonancias críticas y determinan las cargas decisivas para la resistencia de servicio.

Para el estudio del confort de marcha y del comportamiento acústico en el interior del habitáculo, se complementa el modelo de carrocería mediante modelos FE del chasis, del motor, de las puertas, etc., y por un modelo FE del habitáculo.

Cálculo de una estructura de carrocería



Marcha del análisis estructural con elementos finitos



Cálculo del comportamiento ante las colisiones

Los ensayos de colisiones que hacen los fabricantes de automóviles (colisión frontal, posterior, lateral, vueltas de campana, caídas) así como también los accidentes de circulación, son procesos dinámicos, en su mayoría no lineales, que no se pueden tratar con los programas convencionales de FE. Para la simulación numérica de estos procesos se han desarrollado sistemas especiales de programas FE (p.ej. DYNA3D, PAMCRASH), que se emplean con éxito creciente. En ellos está comprendida la descripción de grandes deformaciones plásticas, así como también la determinación de los sectores de contacto entre diferentes componentes del vehículo, tal como sucede en los procesos de colisiones.

Reciclaje, protección del medio ambiente

Los fabricantes de automóviles se preocupan de mantener limpios el aire y el agua, de la protección contra ruidos y del reciclaje:
- cuota de reciclaje en componentes metálicos, el 95%.
- cuota de reciclaje en plásticos aprox. el 10%, con esfuerzos intensivos para conseguir ulteriores mejoras en colaboración con los proveedores de componentes de plástico y la industria química.
- purificación de los gases de escape y recuperación de materiales valiosos de los catalizadores.
- reciclaje de materiales de las baterías.
- los hidrocarburos fluor/clorados ya no se utilizan para la fabricación de plásticos ni como refrigerantes.
- los disolventes para desengrasar la carrocería están casi exentos de dichos hidrocarburos, en la imprimación por inmersión se emplean lacas de agua.
- lacas de agua para la pintura de cubrimiento ya parcialmente en uso.
- preparación de materiales de servicio, p.ej. aceites, refrigerantes, anticongelantes.
- reutilización de materiales residuales (p.ej. desperdicios de metales, papel viejo, desperdicios de cuero, textiles y madera) en aprox. un 60%.

Carrocería de los vehículos industriales

Vehículos industriales

Los vehículos industriales sirven para el transporte seguro y racional de pasajeros y mercancías. Su rentabilidad se determina por las relaciones entre volumen total constructivo y espacio útil, así como también entre carga útil y peso total. Prescripciones legales limitan medidas y pesos.

Desde el punto de vista conceptual hay que diferenciar entre vehículos de dirección delantera (motor debajo de la cabina del conductor) y vehículos con capó (motor delante de la cabina del conductor).

Un gran número de tipos de vehículos se encargan de las tareas de transporte en el tráfico de cercanías y de largo recorrido, en los terrenos de obras, así como también de transportes especiales.

Furgones

Los furgones son vehículos ligeros (2 a 7 t), cuyo campo de trabajo es el transporte de pasajeros y el reparto de mercancías en las cercanías. Se le exigen altos requerimientos en cuanto a facilidad de maniobra, prestaciones de marcha y confort de mando. Los conceptos prevén motores frontales, tracción delantera o trasera, suspensión individual de las ruedas o eje rígido y, a partir de 3,5 t de peso total neumáticos gemelos en el eje trasero.

La variedad de tipos abarca carrocerías cerradas de furgones y vehículos combinados, así como también vehículos de caja abierta para plataforma alta y baja.

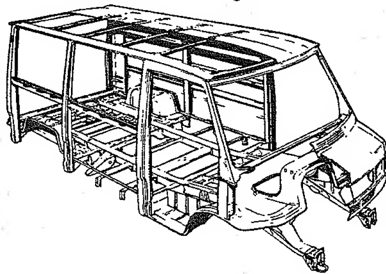
Sinopsis de vehículos industriales

Vehículo todo terreno	
Transportador	
Camión	
Camión con remolque	
Tren de carga de gran volumen	
Trailer con quinta rueda	
Autobús de viajeros	
Vehículo agrícola	
Volquete todo terreno	

Sinopsis furgones

Furgones	
Furgón de doble cabina de plataforma baja	
Furgón de caja abierta de plataforma alta	
Chasis	

Estructura portante de furgón



En los furgones las carrocerías van unidas al chasis por medio de un tipo de construcción integral, formando una estructura portante común.

La estructura de la carrocería y del chasis están formadas por piezas de chapa prensada y de perfiles de cantos plegados. Los furgones de caja abierta tienen como estructura portante principal un sistema de bastidor, con largueros abiertos o cerrados longitudinales o transversales.

Camiones y máquinas tractoras de semirremolque

Aquí se ha impuesto la división en chasis portantes y carrocerías portantes sólo de forma parcial. En la mayoría el motor está delante; raras veces debajo del suelo entre los ejes. La tracción a través del eje trasero equipado con neumáticos dobles. Para servicio en lugares de obras (off road) con altos requerimientos a la tracción, se utiliza la tracción a todas las ruedas con tecnología de bloqueo transversal longitudinal y transversal.

Denominación del tipo de chasis de camiones:

N x Z / L

N = número de ruedas

Z = número de ruedas motrices

L = número de ruedas con dirección

Los chasis normales poseen ejes rígidos detrás y delante, con suspensión de ballestas o neumática. Las suspensiones neumáticas permiten una colocación y desprendimiento fáciles de carrocerías cambiables, así como también de los semirremolques. Vehículos de tres ejes (6x2) están equipados con ejes de rodadura previa o posterior (delante o detrás del eje de tracción), para incrementar la carga útil. Los vehículos de tracción fuerte (6x4) para servicio en obras, poseen un dispositivo de eje doble con compensación de carga de ejes y apoyo central.

Bastidor

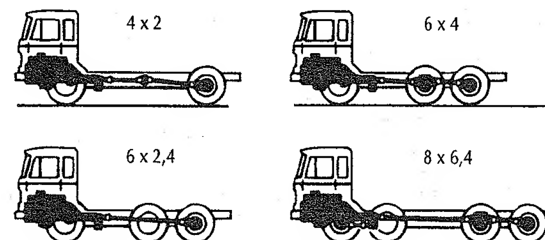
El bastidor constituye el elemento portante en sí de los vehículos industriales. Está formado por vigas longitudinales y transversales en forma de escalera. La selección de los perfiles decide la rigidez contra la contorsión. Los bastidores blandos en la contorsión se utilizan preferentemente en los camiones medianos y pesados, porque permiten una adaptación más fácil de la suspensión. Los bastidores rígidos a la contorsión se prestan mejor para vehículos menores de reparto.

En la construcción del bastidor los puntos de aplicación de fuerzas y los nudos de uniones entre los travesaños longitudinales y transversales suponen lugares críticos. Chapas especiales de nudos o perfiles prensados de vigas transversales forman una base de conexión amplia. Los puntos de unión van soldados, remachados o atornillados. Los bastidores de "vientre de pescado", con mayor altura de perfil en la zona entre los ejes, proporcionan más rigidez al doblado. Adicionalmente chapas de unión o en forma de L sirven de refuerzo local.

Cabina del conductor

Según sea el concepto del vehículo, existen diferentes cabinas de conductor. En el tráfico de reparto son ventajosas las cabinas bajas de acceso cómodo; en los largos recorridos son importantes el confort y la espaciosidad. Conceptos de series constructivas permiten la ejecución de cabinas de conductor cortas, medianas y largas,

Tipos de chasis de camiones (Ejemplos)



manteniendo el frente, la parte trasera y las puertas.

En la cabina con dirección delantera el volante está desplazado totalmente hacia delante. El motor está debajo de la cabina elevada o bien debajo de una tapa interior entre conductor y acompañante. El acceso se encuentra delante o encima (algo incómodo) del eje delantero. Un dispositivo de báscula de la cabina, de accionamiento mecánico (barras de torsión pretensadas) o hidráulico, asegura la accesibilidad al motor.

En la cabina con morro y capó el bloque motor/cambio está delante del espacio interior en sí e incorporado debajo de una capota de acero o de material plástico (casi siempre abatible para ganar accesibilidad). El acceso es por detrás del eje delantero.

Estructuras superiores

Las estructuras superiores como cajas abiertas, cajas, volquetes, cisternas, mezcladores de cemento, etc., permiten el transporte racional y de acuerdo con las necesidades de las más diferentes mercancías. La unión con el bastidor portante se realiza en parte mediante bastidores auxiliares con sujeciones por arrastre de fuerza o de forma.

En los transportes de largo recorrido se utilizan trenes de carga o de semirremolques. Al aumentar el tamaño de las unidades de transporte disminuyen los costes en relación con la cantidad de mercancía transportada.

El volumen de carga se aumenta mediante la reducción de los espacios libres entre la cabina del conductor, el recipiente de carga y el remolque (tren de carga de gran volumen). Las ventajas del servicio con semirremolques residen en la longitud del recipiente de carga, no interrumpida, y los tiempos menores de paro de las máquinas de tracción.

Para minimizar el consumo de combustible se prevén medidas para mejorar la aerodinámica tales como revestimientos frontales y laterales en el vehículo, así como cuerpos conductores del aire, especialmente adaptados a la carrocería de la cabina del conductor.

Omnibuses

Los omnibuses sirven para el transporte de pasajeros. Sus aspectos constructivos principales son: conformación en dependencia del uso previsto, seguridad, compatibilidad con el medio ambiente, buen confort de marcha y de la suspensión y alto mantenimiento de su valor.

Microbuses

Capacidad de transporte hasta 25 pasajeros. Los vehículos van montados sobre bastidores de escalera y se derivan de los furgones. Suspensiones principales blandas y uniones elásticas entre carrocería y chasis permiten un buen confort de marcha.

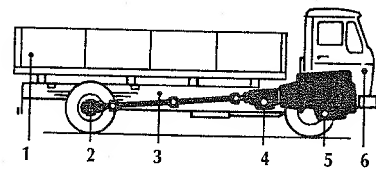
Autobuses urbanos

Equipados con asientos y plazas de pie para el tránsito de línea. La distancia reducida entre paradas del tránsito urbano requiere un flujo rápido de carga y descarga de pasajeros, puertas amplias y reducida altura del suelo del coche (300 a 700 mm).

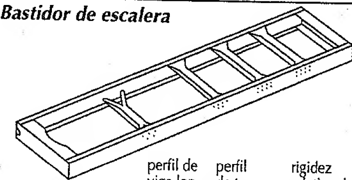
Datos principales para el autobús estándar urbano:
longitud del vehículo aprox. 11,8 m
peso total aprox. 17,5 t
número de asientos 38 a 44
capacidad total aprox. 108 personas

El empleo de autobuses de dos pisos (130 personas) y autobuses articulados (185 personas) lleva al aumento de la capacidad de transporte.

Grupos constructivos del camión
1 *Carrocería*, 2 *Eje*, 3 *Chasis*, 4 *Cambio*, 5 *Motor*, 6 *Cabina*

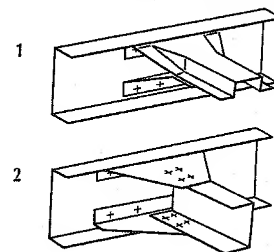


Bastidor de escalera

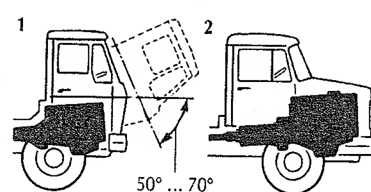


perfil de viga longitudinal	perfil de travesaño	rigidez relativa de contorsión
[	[/ ⊓	1
[	O	2,5
▯	O	8

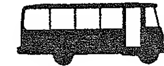
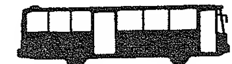
Nudo de bastidor
1 *Travesaño de sombrero*, 2 *Travesaño en U*



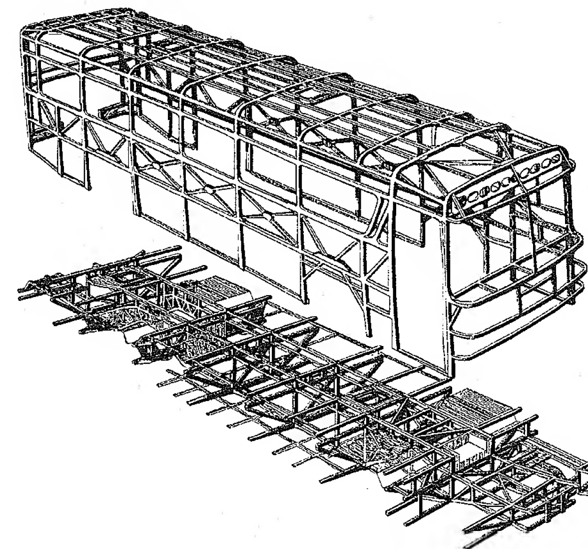
Cabina
1 *Cabina con dirección delantera*, 2 *Cabina con capó de motor*



Compendio de los autobuses

Microbuses	
Autobús urbano de línea estándar	
Autobús urbano de dos pisos	
Ómnibus articulado	
Autobús interurbano	
Autocar de viajes	

Carrocería autoportante de ómnibus



Autocares interurbanos
Son un compromiso entre los autobuses urbanos y los autocares de largo recorrido, con plazas de pie en el pasillo y maleteros más reducidos.

Autocares de largo recorrido
Están concebidos para viajar confortablemente en trayectos medios y largos. La numerosa gama va desde el autocar normal de baja altura y de dos ejes hasta el autocar de lujo de dos pisos con cabina separada del conductor.

Carrocería
Construcción ligera con carrocería autoportante. Las estructuras superior e inferior soldadas entre sí, constan de elementos de soporte de rejilla con componentes prensados y tubo cuadrado.

Chasis
El motor atrás, montado de forma tumbada o vertical, acciona el eje trasero. La suspensión neumática permite una estabilización del nivel y un buen confort de marcha. A menudo se emplean suspensiones individuales en las ruedas delanteras y frenos de disco y retardadores.

Seguridad pasiva en vehículos industriales

La seguridad pasiva debe limitar las consecuencias de accidentes y proteger a los participantes en el tráfico. El registro sistemático de accidentes así como también ensayos de accidentes simulados ayudan a elaborar medidas de seguridad.

La cabina del conductor y el habitáculo de los pasajeros deben asegurar, en caso de colisión, el espacio libre para la supervivencia de los ocupantes. Para ello las desaceleraciones que aparezcan no deben llegar a ser demasiado grandes. Según el tipo de construcción resultan diferentes tipos de soluciones.

En los vehículos de transporte la parte frontal es como en los automóviles, es decir capaces absorber energía. A pesar de recorridos menores de deformaciones y posibles energías mayores, pueden cumplirse los valores límite admitidos fisiológicamente en la colisión frontal a 50 km/h contra una barrera sólida.

En el camión las vigas longitudinales del bastidor llegan hasta el parachoques de delante y pueden transmitir grandes fuerzas longitudinales. Basándose en estudios de accidentes, las medidas se dirigen a una mejora de la estructura de la cabina. Ensayos estáticos y dinámicos de cargas y golpes en la parte frontal, posterior y del techo de la cabina, simulan los esfuerzos en una colisión frontal, en volcados, vueltas de campana y carga que se corre hacia delante.

Según estudios estadísticos, el autocar es el medio de transporte más seguro. Ensayos estadísticos de carga sobre el techo y ensayos dinámicos de volcado comprueban la solidez de la construcción de la carrocería. Materiales de difícil inflamación y autoextinguibles en el equipamiento del interior minimizan el riesgo de incendio.

En el tráfico mixto no se pueden evitar colisiones entre participantes con vehículos livianos y pesados. Las diferencias de masas así como las incompatibilidades parciales en la geometría y rigidez de las estructuras condicionan un riesgo mayor de lesiones en el vehículo de menor peso. Variación de la velocidad en el golpe central plástico para la colisión frontal o posterior de dos vehículos:

Vehículo 1 $\Delta c_1 = \dfrac{\mu \cdot \Delta v}{1+\mu}$

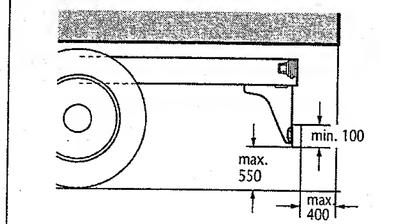
Vehículo 2 $\Delta c_2 = \dfrac{\Delta v}{1+\mu}$

con $\mu = m_2/m_1$

siendo m_1, m_2 las masas de los vehículos participantes y v la velocidad relativa antes del golpe.

Dispositivos de protección laterales, frontales y posteriores contra irrupción debajo del vehículo ayudan a reducir el peligro de que el vehículo más liviano llegue a empotrarse debajo del vehículo más pesa-

Protección de irrupción inferior trasera para vehículos industriales



do en el caso de colisión, sirviendo así a la mejora de la protección del participante.

Vehículos industriales con emisión reducida de ruidos

Medidas en el vehículo para bajar el nivel de emisión de ruidos reducen el ruido en el tráfico y mejoran el confort de marcha. Con el análisis de las fuentes de ruidos se estudia el aporte sonoro de las fuentes individuales de ruidos totales y se determina la eficacia de las medidas de reducción de emisiones de ruidos.

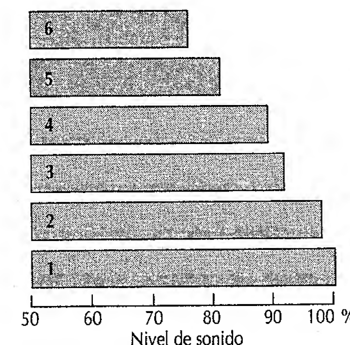
Los puntos clave para la reducción de ruidos en su origen son números bajos de revoluciones del motor, intervención en la combustión, ruidos reducidos en los engranajes y ejes, ajuste sin resonancia de todos los componentes del motor así como de las instalaciones de los gases de escape y de aspiración.

Unos elementos de unión apropiados entre las fuentes de ruidos por un lado y bastidor, carrocería y cabina del conductor por otro, dificultan la transmisión de ruidos. Para ello se utilizan suspensiones elásticas mediante piezas de goma/metal con alta amortiguación de los sonidos propios del motor, del cambio, de los árboles articulados, de las conducciones de ejes, de los apoyos de la cabina del conductor, etc. Medidas secundarias efectivas son la envoltura y el encapsulado de las fuentes parciales de sonidos.

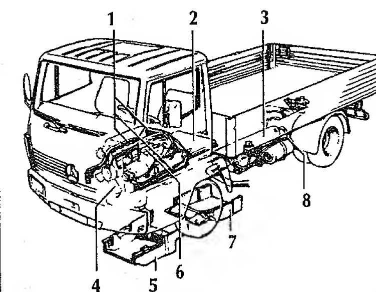
El encapsulado del motor no pudo imponerse. En camiones y furgones se ha difundido el encapsulado parcial escalonado en el chasis del compartimiento del motor y del cambio, mientras que en autocares, con motor atrás, el encapsulado en el lado de la carrocería.

Con medidas atinadas en el vehículo se pueden reducir los ruidos de paso a marcha acelerada en unos 10 dB(A), consiguiéndose así el límite de la definición de vehículos pobres en emisiones de ruidos de 80 dB(A). (Para prescripciones véase "Acústica", p. 62.). A una velocidad superior de 50 km/h en llano, en los vehículos industriales predomina el ruido de rodadura de los neumáticos. La combinación casual calzada/neumático evidencia un intervalo de dispersión de 7 dB(A) para el ruido de paso. Están investigándose desarrollos hacia el asfalto de ruido de susurro y de neumáticos más silenciosos.

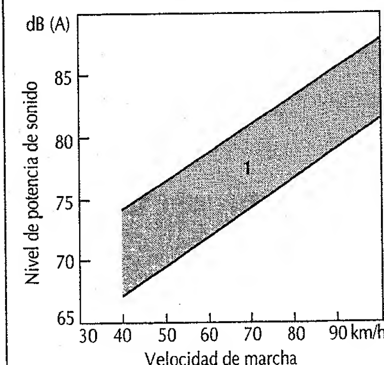
Análisis de fuentes de ruidos en vehículos industriales
1 Total de ruidos, 2 Motor, 3 Instalación de gases de escape, 4 Ventilador, 5 Aspiración de aire, 6 Resto



Reducción de ruidos en vehículos industriales
1 Faldones insonorizantes, 2 Envoltura del cambio, 3 Silenciado de los gases de escape, 4 Ventilador del motor, reforzado por el radiador, 5 Tapa inferior del motor, 6 Medidas en el motor, 7 Tapa inferior del cambio, 8 Instalación de frenos de ruidos reducidos



Ruido de paso de vehículos industriales
1 Intervalo de dispersión calzada/neumático



Alumbrado

Normas generales para los equipos luminotécnicos

Alemania
En Alemania se aplican a los equipos luminotécnicos de los vehículos las normas de construcción y servicio del código de circulación alemán.

Además, en el ensayo del tipo constructivo (homologación), se deben utilizar las especificaciones técnicas sobre alumbrado del mismo código. En los demás países de Europa las normas son también parecidas.

Europa
En Europa rigen las directivas CEE-R(egulaciones) 48-01 (Sector CEE Ginebra) o 76/756/CEE (Sector UE Bruselas) para el montaje de todas las instalaciones de iluminación y de señales ópticas.

EE.UU.
En Estados Unidos de América se aplica la norma FVMSS 108 (Federal Motor Vehicle Safety Standard). Corresponde, en su contenido, a las directivas europeas. En las prescripciones SAE para ensayos fotométricos y tecnológicos se dan las condiciones de homologación para los distintos aparatos.

Símbolos de homologación
Para cada función luminotécnica existe un símbolo de homologación especial, que debe incorporarse de forma legible en la pantalla difusora o en el cristal del aparato. Ejemplo de símbolos de homologación:

∿K Símbolo de homologación nac. D

(E1) Símbolo de homologación CEE

[e1] Símbolo de homologación UE

La cifra 1 añadida a la letra demuestra que la homologación fue concedida en Alemania.

Términos luminotécnicos

Alcance de un faro
Distancia a la cual la intensidad de iluminación en el haz luminoso todavía tiene un valor determinado, por ejemplo, línea de un lux en el borde de la calzada.

Alcance geométrico de un faro
Distancia de la parte horizontal del límite claro/obscuro sobre la calzada. Con una inclinación de la luz de cruce del 1% o de 10 cm/10 m., el alcance geométrico = 100 x la altura de montaje del faro (medida desde el centro del reflector hasta la calzada).

Alcance visual
Distancia a la cual es visible un objeto situado dentro de la distribución de densidad luminosa del campo visual.

La forma, tamaño y grado de reflexión del objeto, la superficie de la calzada, la ejecución técnica y la limpieza del faro y el estado fisiológico de los ojos influyen en el alcance visual. Por ello no se le pueden fijar valores numéricos. Por ejemplo, el alcance visual en condiciones extremadamente desfavorables puede ser de menos de 20 m (en el lado izquierdo de la calzada, carretera mojada), y en condiciones extremadamente favorables, llegar a más de 100 m (en el lado derecho de la calzada).

Extensión
Distancia a la cual una señal luminosa (por ejemplo, las luces antiniebla traseras), pueden reconocerse normalmente a través de una atmósfera borrosa o de niebla.

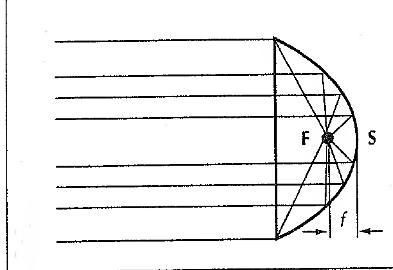
Deslumbramiento fisiológico
Perturbación medible de la capacidad de visión por causa de fuentes luminosas deslumbrantes, o sea, disminución de la distancia visual cuando se cruzan dos vehículos

Deslumbramiento psicológico
(Deslumbramiento molesto)
Se presenta cuando una fuente de luz deslumbrante "molesta", sin que pueda notarse por ello una disminución de la capacidad visual. La evaluación se realiza según una escala de valoración entre agradable y desagradable.

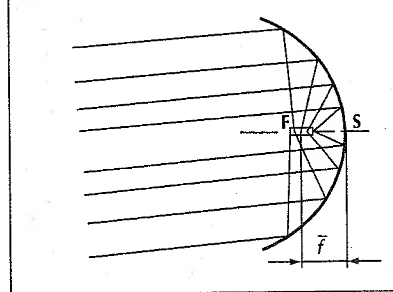
Distancia focal de un reflector
Los reflectores de los faros y luces tienen casi siempre forma parabólica. La distancia local f (distancia del vértice de la parábola al foco) está entre 15 y 40 mm.

En reflectores modernos, la forma geométrica se genera mediante cálculos matemáticos complejos (HNS Homogeneous Numerically Calculated Surface) en los que se indica la distancia focal promedio $\bar{f}$, referida a la distancia del vértice de la parábola al centro del filamento.

Reflector parabólico
F Foco, S Vértice de la parábola, f Distancia focal



Reflector HNS
F Foco, S Vértice de la parábola, $\bar{f}$ distancia focal pequeña promedio



Superficie luminosa de un reflector
Proyección paralela de la abertura total del reflector sobre un plano transversal. Este plano está casi siempre perpendicular al sentido de la marcha.

Intensidad de luz efectiva, rendimiento de un faro
Parte de la intensidad luminosa del filamento incandescente que pasa por las piezas reflectantes o refractantes de un aparato (por ejemplo a través del reflector del faro a la calzada). Una distancia focal pequeña del reflector da un aprovechamiento favorable de la lámpara de incandescencia, porque el reflector abarca ampliamente a la lámpara y con ello una parte mayor de la luz producida participa en el haz luminoso que se produce.

Ángulo de visibilidad geométrica
Ángulo medido respecto al eje del aparato bajo el cual resulta visible la totalidad de la superficie luminosa.

Términos para los tipos constructivos

Conjunto
El cuerpo es común, sin embargo, los cristales y lámparas de incandescencia van por separado. Ejemplo: luces de cámaras múltiples con diversas funciones en las luces traseras.

Combinación
El cuerpo y la lámpara de incandescencia son comunes, pero los cristales aparte. Ejemplo: luces traseras combinadas con la luz de la matrícula.

Construcción una dentro de otra
El cuerpo y el cristal difusor (o vidrio) son comunes, pero las lámparas de incandescencia aparte. Ejemplo: construcción una dentro de otra de faro y luz de posición.

Faro principal, sistema europeo

Luz de cruce
Con las densidades de tráfico actuales las luces largas sólo se pueden utilizar excepcionalmente. La luz apropiada para circular es pues la de cruce, que se ha mejorado notablemente en los últimos años por medio de medidas fundamentales:

– Introducción de la luz de cruce asimétrica con mayor visibilidad en el margen derecho de la calzada,
– Homologación de diversos tipos de lámparas halógenas con elevación de la densidad de iluminación de la calzada en un 50 a 80 %.
– Introducción de nuevos sistemas de faros con geometría compleja (PES, HNS) con un rendimiento mejorado hasta un 50%.

El sistema de faros "Litronic", con lámparas de descarga de gas (con arco de luz) aumenta la cantidad de luz emitida a más del doble en comparación con lámparas de halógeno.

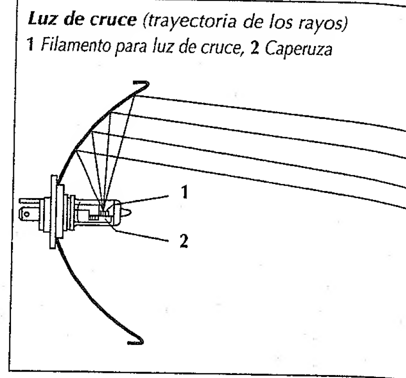
En todos los sistemas de faros empleados hasta 1988 (con lámpara H4), el filamento para la luz de cruce está colocado delante del foco del reflector parabólico. Debido a ello la luz obtiene, después de la reflexión, una inclinación hacia el eje del reflector.

Una caperuza tapa la luz que, en el sector inferior, sería reflejada planamente hacia arriba. Así el canto de la caperuza se proyecta en la calzada como límite entre los sectores claro y oscuro. Se produce una distribución con "arriba oscuro/abajo claro", que se presta para obtener alcances de visibilidad aceptables en todas las situaciones de circulación. Por un lado se contiene dentro de unos límites al deslumbramiento del tráfico en sentido contrario, y por otro lado se consigue gran intensidad de iluminación debajo del límite claro/oscuro.

Junto a un alcance visual máximo y un efecto de deslumbramiento mínimo, la distribución de la luz también debe cumplir las especificaciones para la cercanía. Las curvas deben poder tomarse con seguridad, es decir, la distribución de la luz debe rebasar los bordes de la calzada.

Las exigencias luminotécnicas que se imponen a los faros de vehículos, deben ser probadas mediante técnicas de medición. Para ello se prescriben también valores mínimos de la intensidad de iluminación para obtener una buena iluminación de la calzada y valores máximos para evitar el deslumbramiento.

***Luz de cruce** (trayectoria de los rayos)*
1 Filamento para luz de cruce, 2 Caperuza



Tamaño del reflector

En sistemas convencionales de faros, al crecer el tamaño del reflector se mejora la efectividad de la luz de cruce. Un montaje lo más alto posible hace que el alcance geométrico sea mayor, pero en contraposición a esto, la parte frontal del vehículo debe mantenerse baja con fines aerodinámicos.

Bajo estas condiciones, el aumento de tamaño del reflector hace que los faros sean anchos.

Límite claro–obscuro de la luz de cruce
La caperuza dentro de la lámpara de incandescencia limita el haz lumínico hacia arriba

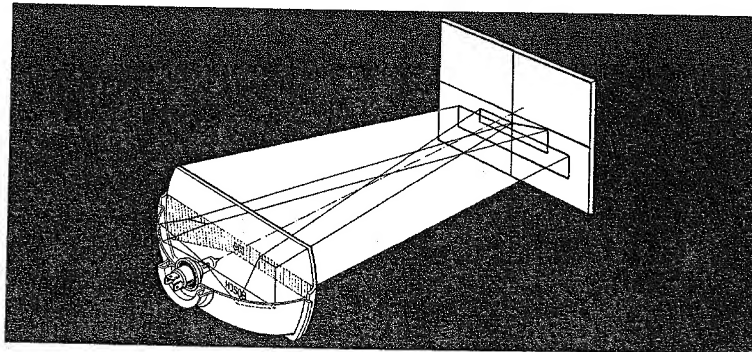


Imagen en perspectiva con puntos de medición para las intensidades de iluminación según la directiva CEE 20
Valores prescritos en lux para faros con lámparas H4 a 25 m de distancia

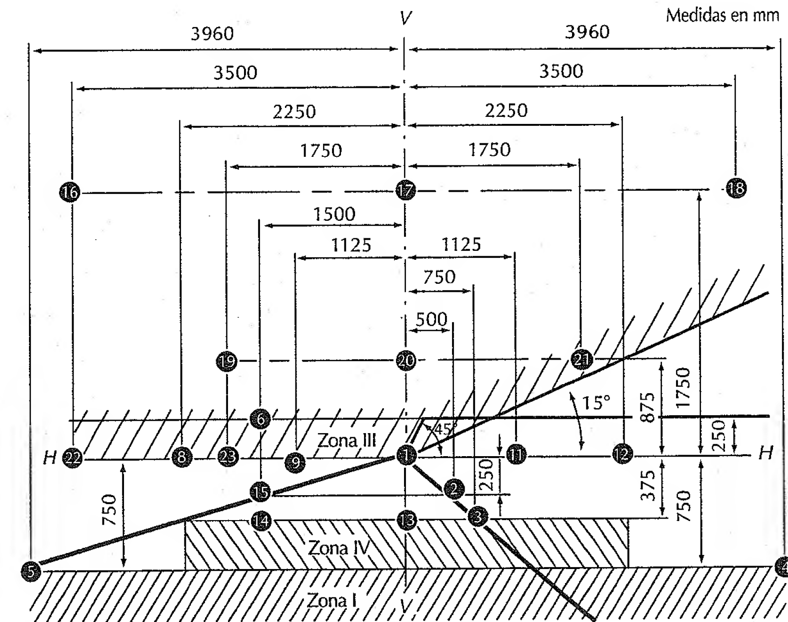
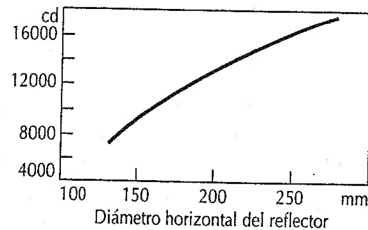


Tabla 1. Puntos de medición para la medición de luz de cruce y luz de carretera

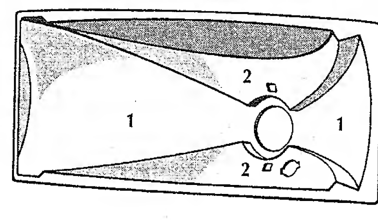
Luz de cruce			
Puntos de medición	Valores prescritos lx	Puntos de medición	Valores prescritos lx
1. E_{HV}	≤ 0,7	14. E_{50L}	≥ 2
2. E_{75R}	≥ 12	15. E_{75L}	≥ 12
3. E_{50R}	≥ 12	16. $E_{8L/4U}$	≥ 0,1; ≤ 0,7
4. E_{25R}	≥ 2	17. $E_{V/4U}$	≥ 0,1; ≤ 0,7
5. E_{25L}	≥ 2	18. $E_{8R/4U}$	≥ 0,1; ≤ 0,7
6. E_{B50L}	≤ 0,4	19. $E_{4L/2U}$	≥ 0,2; ≤ 0,7
Valor máximo en zona I	≤ E_{50R}	20. $E_{V/2U}$	≥ 0,2; ≤ 0,7
Valor máximo en zona III	≤ 0,7	21. $E_{4R/2U}$	≥ 0,2; ≤ 0,7
Valor mínimo en zona IV	≥ 3	22. $E_{8L/H}$	≥ 0,1; ≤ 0,7
13. E_{50V}	≥ 6	23. $E_{4L/H}$	≥ 0,2; ≤ 0,7

Luz de carretera	
Puntos de medición	Valores prescritos lx
7. E_{max}	> 48
	< 16 · E_{75R}
	(< 240)
8. $E_{H-5,15°}$	≥ 6
9. $E_{H-2,55°}$	≥ 24
10. E_{HV}	≥ 0,8 E_{max}
11. $E_{H+2,55°}$	≥ 24
12. $E_{H+5,15°}$	≥ 6

Intensidades de luz para luz de cruce (lámpara H4) en el borde derecho de la calzada en relación con el diámetro horizontal del reflector



Reflector homofocal (principio)
1 *Reflector de base,* 2 *Reflector adicional*



Además, a un mismo tamaño de reflector, está la dependencia de la distancia focal. Las distancias focales pequeñas producen haces de luz más anchos con mejor iluminación del campo cercano y de los laterales. Esto es ventajoso especialmente en las curvas.

Reflectores escalonados

Los reflectores escalonados están compuestos de segmentos de paraboloides o parelípticos (combinación de parábolas y elipses) de diferente distancia focal, de forma que retienen las ventajas de los reflectores profundos, con un espacio reducido para su instalación.

Reflector homofocal

Los reflectores adicionales, en forma de sectores, del reflector homofocal, todos con un foco común, tienen una distancia focal menor que la del reflector de base y por ello contribuyen eficazmente a mejorar el flujo luminoso. La luz de los reflectores adicionales mejora la iluminación frontal y la lateral, pero no aumenta el alcance. Para el servicio, resulta apropiada una lámpara de 2 filamentos (cruce y carretera). A causa del mayor escalonamiento entre las partes, el reflector se construye de plástico.

Reflector multifocal

El principio del reflector multifocal se parece al del reflector homofocal. Con la introducción de segmentos parelípticos de reflector que dispersan la luz horizontalmente, resulta según la descripción matemática una multitud de focos.

Reflectores sin escalones

Programas luminotécnicos especialmente desarrollados (CAL Computer Aided Lightning) permiten la realización de formas de reflectores sin escalones VFR (reflector de foco variable) con segmentos de reflector no parabólicos. La optimización se realiza según una distribución de la luz introducida como datos y representada en el monitor.

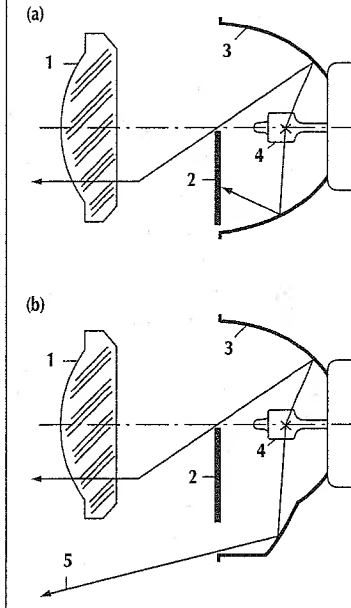
El foco de las diferentes zonas del reflector puede variar su posición con respecto a la fuente de luz. Con este principio puede aprovecharse la totalidad de la superficie del reflector.

Mediante un ulterior desarrollo de la tecnología de reflectores HNS se obtiene hoy en día un rendimiento en los faros de hasta el 50%. Más allá de ello, se puede determinar la totalidad de la distribución de la luz sólo mediante el reflector, es decir sin perfiles ópticos en el vidrio dispersor. El faro con vidrio claro y sin perfiles ópticos, también ofrece nuevas posibilidades en el diseño de los vehículos.

Faro PES

El nuevo sistema de faros denominado PES (sistema polielipsoide) con óptica de reproducción muestra mejoras luminotécnicas comparado con los faros convencionales. Una superficie de radiación de luz de sólo 28 cm^2 permite distribuciones de luz iguales que con los faros de gran superficie existentes hasta ahora. Esto se consigue por medio de un reflector elíptico (calculado por CAL) y una óptica de proyección. Un diafragma de imagen proyecta unos límites

Reflector PES
(a) *PES,* (b) *PES-PLUS*
1 *Objetivo,* 2 *Diafragma,* 3 *Reflector,* 4 *Lámpara,* 5 *Luz adicional para campo cercano*



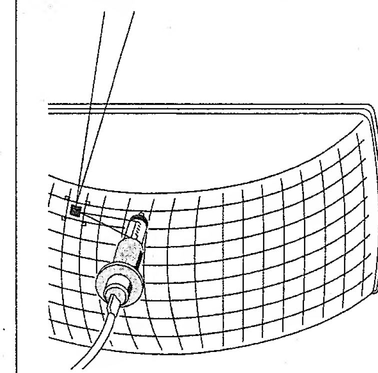
de claro/obscuro exactamente definidos, que a voluntad pueden tener una alta nitidez, una reducida nitidez o bien una forma a discreción.

El faro PES con una altura de montaje de sólo unos 80 mm, puede constituir una unidad de banda de luz junto con las luces largas ya existentes, las de posición y los faros antiniebla PES.

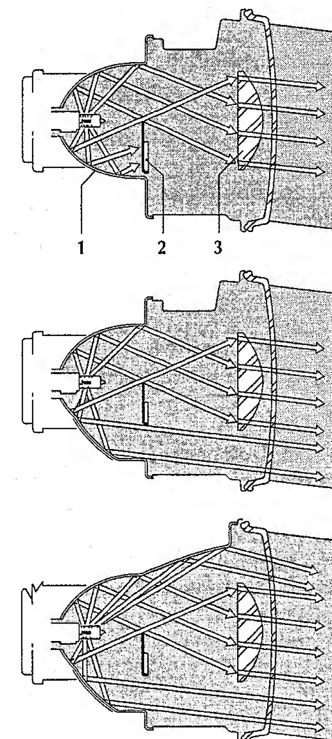
El principio PES-PLUS para una mayor altura constructiva (aprox. 130 mm) aprovecha la proporción de luz que cae en el PES de 80 mm sobre el diafragma de imagen y por tanto se pierde para el aprovechamiento lumínico. Esta luz adicional irradia una parte del reflector, debajo del diafragma de imagen, y mejora la iluminación del campo cercano.

Además de esto la imagen de señal es ampliada, reduciéndose con ello el deslumbramiento psicológico. Esto, reforzado aún más mediante un reflector anular, tiene un efecto positivo, en especial para el tráfico en sentido contrario.

Reflector HNS
Representación de la imagen del filamento mediante óptica de espejo



Reflectores PES, Representación del recorrido de los rayos luminosos
(a) *PES,* (b) *PES-PLUS,*
(c) *PES-PLUS con reflector anular*
1 *Reflector,* 2 *Diafragma,* 3 *Lente*



Litronic

El sistema de faros Litronic (Light-Electronic) con un componente central que consta de una bombilla de descarga de gas de xenón logra un gran efecto lumínico con un requerimiento de espacio frontal reducido para un diseño del vehículo con valores favorables del índice c_W.

El arco de luz de la lámpara "D2S" de 35 W da el doble de flujo lumínico con una mayor temperatura de color[1] (4200 K) que una lámpara de halógeno H1, es decir –de forma parecida a la luz solar– proporciones mayores de luz azul y verde. El pleno rendimiento luminoso de aprox. 90 lm/W se obtiene al alcanzarse la temperatura de servicio de la bombilla de cuarzo de 900° C. Una potencia y corriente eléctricas transitoriamente sobredimensionadas de hasta 2,6 A (servicio continuo de 0,4 A) permiten obtener "luz instantánea". Las 1500 horas de vida útil son suficientes para la duración del servicio promedio de un automóvil. Puesto que no se produce un fallo repentino como en un alambre incandescente, son posibles el diagnóstico y el cambio a tiempo.

Las lámparas de descarga de gas de la segunda generación están equipadas con un portalámparas de enchufe resistente a altas tensiones y una bombilla de vidrio de protección contra rayos UV:

- la lámpara D2S para faros en versión PES,
- la lámpara D2R para faros en versión con reflector; con "dispositivo de sombreado" integrado, para la obtención de un límite claro/oscuro; comparable con la caperuza para la luz de cruce de la lámpara H4.

Un dispositivo previo electrónico (EVG) como componente del faro acciona y vigila el funcionamiento de la lámpara:

- encendido de la descarga de gas (tensión 10 a 20 kV)
- alimentación regulada de corriente en la fase de calentamiento de la lámpara fría y
- regulación de la alimentación en el servicio estacionario.

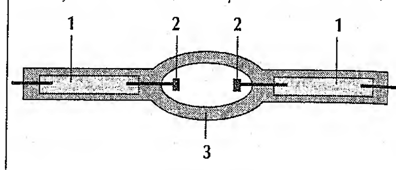
[1] Temperatura del "radiador negro" cuya radiación le aparece al ojo humano en igualdad o similitud de color.

Las fluctuaciones en la tensión de la red del vehículo se compensan ampliamente; así se evitan las variaciones en el flujo lumínico. Si p.ej. la lámpara se apaga debido a una caída extrema de tensión continua encendida automáticamente.

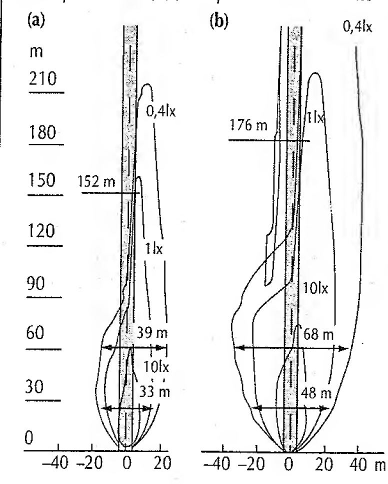
En el caso de fallo (p.ej. en caso de una lámpara dañada) el dispositivo electrónico previo interrumpe la alimentación, asegurando así una protección contra el contacto.

El Litronic de momento se utiliza para luz de cruce en sistemas de cuatro faros para exigencias máximas, juntamente con luz halógena de carretera en conexión simultánea. Una renuncia parcial a la "miniaturización" permite una iluminación claramente ampliada de la calzada. Así llegan a ser visibles los bordes de la calzada también en las curvas y en calzadas muy anchas, tal como también se consigue con faros halógenos en tramos rectos.

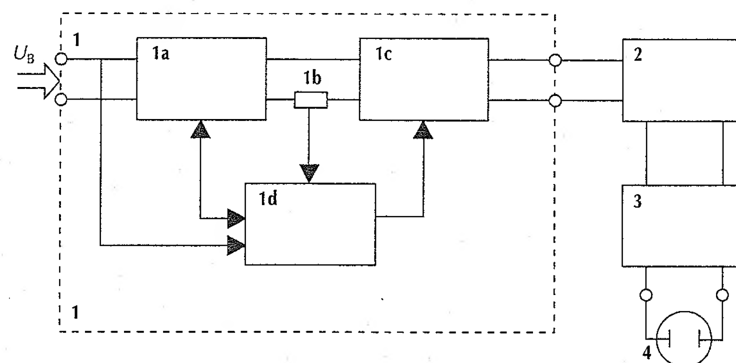
Lámpara de descarga de gas (principio)
1 Pasaje, 2 Electrodos, 3 Recipiente de combustión



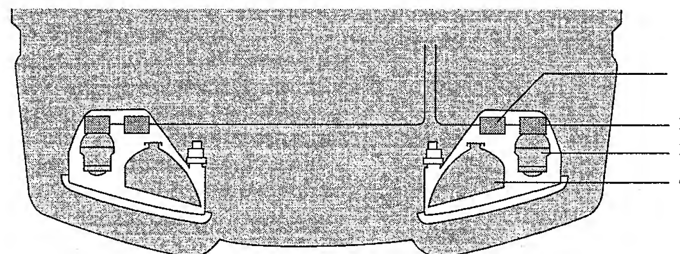
Distribución de la luz (circulación por carretera)
(a) Lámpara H1 PES, (b) Lámpara Litronic PES D2S



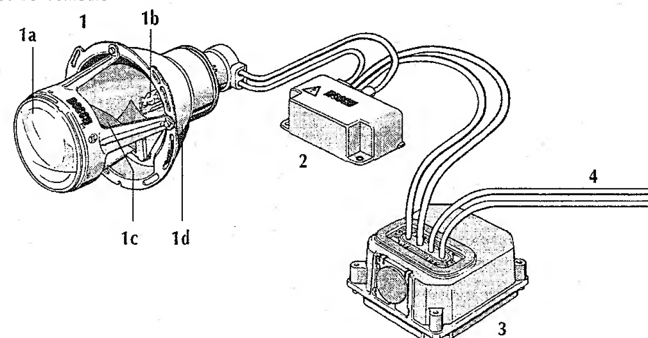
Dispositivo electrónico previo (EVG) para alimentación de corriente alterna de 400 Hz y encendido de impulsos de la lámpara
1 Dispositivo de mando (1a Transformador cc/cc, 1b Derivación, 1c Transformador cc/ca, 1d Microprocesador), 2 Dispositivo de encendido, 3 Portalámparas, 4 Lámpara D2S, U_B Tensión de batería



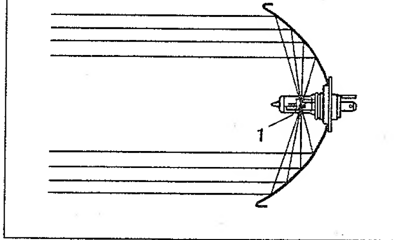
Sistema de cuatro faros con Litronic
1 Dispositivo electrónico previo con dispositivo de mando, 2 Dispositivo de encendido con conexión de la lámpara, 3 Óptica del faro con lámpara de descarga de gas, 4 Luz de carretera halógena



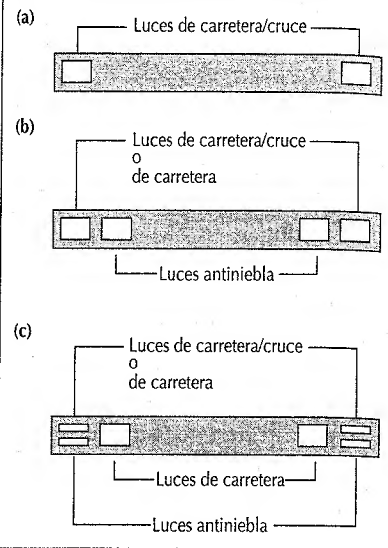
Componentes del sistema para faros en versión PES
1 Faro, 1a Lente, 1b Lámpara D2S, 1c Diafragma, 1d Reflector), 2 Dispositivo de encendido, 3 Dispositivo de mando, 4 Hacia la red del vehículo



Luz de carretera (trayectoria de los rayos)
Filamento para luz de carretera en el foco



Sistemas de faros
(a) Sistema de dos faros, (b) Sistema de cuatro faros, (c) Sistema de seis faros



La visibilidad y la orientación se mejoran considerablemente en situaciones difíciles o con mal tiempo. Según las exigencias de CEE-R los faros Litronic se combinan con una regulación automática de alcance de luz (LWR) y con una instalación de lavado de faros (SRA), para garantizar un aprovechamiento óptimo del largo alcance y una salida impecable del haz de luz.

Luz de carretera (luz larga)
La luz de carretera la produce siempre una fuente de luz que está situada en el foco del reflector parabólico, de modo que la luz se refleja y sale en la dirección del eje del reflector. Las intensidades axiales de alumbrado que se consiguen con la luz de carretera dependen de la condición de la superficie del reflector. Aparte de los reflectores de luz de carretera de forma puramente parabólica se calculan también otros de superficies de formas complejas que llevan a una luz "superpuesta" de combinación, especialmente en los sistemas de faros con cuatro o seis faros.

La distribución pura de la luz de carretera se concibe aquí de tal forma, que lleva a una distribución armónica junto con la luz pura de cruce (conexión simultánea). Prácticamente la luz de carretera es superpuesta o sumada a la luz de cruce. El sector de coincidencia en el campo cercano, normalmente muy molesto, no se produce aquí. Pero la intensidad máxima de iluminación es algo inferior que en el paraboloide.

Tipos constructivos
Las disposiciones vigentes mundialmente especifican que todo vehículo con ejes de dos ruedas debe llevar 2 faros para luz de cruce y por lo menos 2 faros (también se permiten 4) para luz de carretera.

Sistema de dos faros
Utiliza lámparas con dos filamentos (Bilux, Duplo) para las luces de carretera y de cruce, con un mismo reflector.

Sistema de cuatro faros
Un par de faros sirve para las luces de cruce y de carretera, o bien sólo para las primeras, y el segundo par de faros para las de carretera.

Sistema de seis faros
Adicionalmente al sistema de cuatro faros, el faro antiniebla es integrado en el faro principal.
Existen los siguientes tipos constructivos:

<u>Cristal difusor móvil en la carrocería</u>
El cristal difusor y el reflector están unidos entre sí y constituyen un conjunto de faro. Para la regulación del haz de luz se gira todo el conjunto. En caso desfavorable esto puede provocar una posición algo inclinada del difusor con respecto a la carrocería. Los conjuntos de faro, en la zona de la lámpara llevan una tapa de estanquidad y sistemas de ventilación especiales.

<u>Cristal difusor fijo a la carrocería</u>
El reflector no va unido al cristal difusor, que va fijo en su alojamiento, y se mueve sólo cuando se gradúa el haz. El cristal difusor permanece fijo y puede así adaptarse totalmente a la forma de la carrocería. El faro es estanco en su totalidad o puede ir provisto de órganos para la ventilación.

Componentes

<u>Reflector</u>
Los reflectores son de chapa de acero o de plástico. Secuencia de fabricación en el caso de chapa de acero:

- embutición profunda con matriz parabólica o de forma compleja,
- protección contra la corrosión por cincado o recubrimiento por electroforesis,
- pulimentado mediante esmalte,
- incorporación de la capa reflectora por vaporización de aluminio,
- protección del aluminio por vaporización de una capa especial.

La chapa de acero con ese tratamiento se sella herméticamente y consigue unas excelentes características de pulido con una rugosidad residual de máximo 1/10000 mm.

El reflector de plástico es inyectado o prensado (Duoplast, Thermoplast); no necesita tratamiento contra la corrosión. La exactitud de la reproducción de la forma es mejorada notablemente. Además se hacen reflectores escalonados.

<u>Cristal difusor</u>
Los cristales difusores son de vidrio con un alto grado de pureza (exento de burbujas y lágrimas). En la fabricación, por medio de prensas, se da mucho valor al perfecto acabado superficial con el fin de evitar desviaciones de la luz hacia arriba (deslumbramiento del tráfico en sentido contrario). El tipo y disposición del medio difusor prismático sobre el campo del cristal difusor dependen del tamaño del reflector y de su distancia focal y de la distribución deseada de la luz. Con reflectores VFR y HNS solo se requieren pocos elementos prismáticos en el cristal difusor, porque la distribución de la luz se obtiene primariamente mediante el reflector. Con el fin de reducir el peso del cristal difusor hay que contar en el futuro con los materiales plásticos.

Las premisas legales para cristales difusores de plástico ya están dadas en Europa. En 1992 comenzó la producción en serie del primer cristal difusor de plástico. Aparte de su peso, son de especial significado para la técnica del automóvil las posibilidades de conformación y concepción de los faros, resultantes del empleo de cristales de plástico.

Faros principales, sistema americano

Luz de cruce
El filamento incandescente de la luz de cruce está encima y, mirado en el sentido de marcha, algo a la izquierda del foco del reflector. Con esto se consigue aproximadamente que la totalidad del flujo luminoso eficaz se refleje hacia abajo en la dirección de la calzada y además con cierta inclinación hacia la derecha, lo que produce un haz de luz asimétrica. No hace falta la caperuza de ocultación debajo del filamento, ya que basta con el reflector. El límite preciso de claro/oscuro no existe, pero el alcance luminoso es menor en el lado de encuentro y tiene un efecto de deslumbramiento mayor que el sistema europeo. Debido a los nuevos desarrollos en el sector de las técnicas de cálculo (CAL <u>C</u>omputer <u>A</u>ided <u>L</u>ighting) y la influencia de la lámpara de halógeno intercambiable, se ha mejorado continuamente la calidad de la luz. Las fases de desarrollo transcurren de forma paralela al ya descrito sistema europeo de faros.

Luz de carretera
El filamento incandescente, igual que en el sistema europeo, está en el foco del reflector parabólico. Se utilizan sistemas de dos, cuatro y seis faros.

Tipos constructivos

<u>Sealed Beam</u>
El reflector de vidrio recubierto con aluminio vaporizado, a causa del filamento no

encapsulado, debe ser estanco al gas junto con el cristal difusor. La unidad total denominada "Sealed Beam" es fundida y rellenada con un gas inerte. Cuando falla el filamento hay que cambiar todo el conjunto. Hoy día también se permiten conjuntos con lámparas halógenas.

Las lámparas halógenas con bombilla de vidrio propia se funden completas en las unidades "Sealed Beam". Con ello ya no es necesaria la estanquidad hermética del espacio interior de los faros. El corto programa de tipos de faros Sealed Beam limita mucho las posibilidades de diseño de la parte frontal del vehículo.

Replaceable Bulb Headlamp (RBH)
Las mejoras luminotécnicas desarrolladas en Europa sobre la base de las lámparas recambiables también comienzan en el sistema americano. Los faros adaptables en forma y tamaño permiten un diseño mejorado (Styling) del faro. Normalmente se utilizan reflectores y cristales difusores de plástico.

Faros principales, prescripciones europeas

Disposiciones y directivas para los faros principales

76/756/CEE, 76/761/CEE y CEE–R1 y R2: Faros para las luces de carretera y cruce, así como sus lámparas de incandescencia.
R–8 CEE: Faro con lámparas H 1, H 2, H 3, H 7, HB 3 y HB 4.
R–20 ECE: Faro con lámparas H 4.

Código circulación StVZO §50: Faro para luz de carretera y cruce.
76/756/CEE y ECE R–48–01: para aplicaciones y montajes

Luz de cruce, montaje

Están prescritos 2 faros de luz de cruce para los vehículos de varias ruedas en un mismo eje. Luz blanca. Está permitida la composición y el montaje una dentro de otra de las luces de carretera con todas las demás luces delanteras. La combinación con otros aparatos no está permitida.

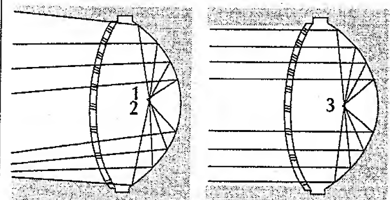
Luz de cruce, luminotecnia

Para la luz de cruce simétrica se aplican en el territorio de Alemania los requerimientos técnicos (TA) del código de circulación (StVZO). Para la luz de cruce asimétrica sólo existen las normas y disposiciones internacionales que contienen prescripciones muy precisas para la medición fotométrica de sus tipos (con lámparas normales o halógenas).

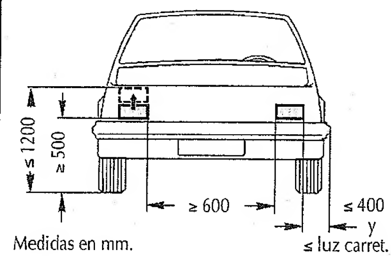
Los ensayos para la homologación de un tipo de faro se realizan con lámparas de prueba, que tienen unas tolerancias reducidas frente a las lámparas de serie corrientes del mercado.

Para el control del efecto deslumbrante de un faro se aplica el código de circulación StZVO § 50 (6) que considera que el deslumbramiento no es importante cuando la intensidad de alumbrado a 25 m de distancia, a la altura del centro del faro, no excede de 1 lx. Durante este ensayo, el motor debe rodar a su número medio de revoluciones.

Sistema de faros americano *(trayectoria de los rayos)*
1 Filamento para luz de cruce, 2 Foco, 3 Filamento para luz de carretera (en el foco)



Sistema de faros europeo *(luz de cruce)*



Luces de cruce, conmutación

Al pasar a luz de cruce se deben apagar a la vez todos los faros de luces de carretera. Se permite la conmutación por reducción (desconexión retardada). El tiempo de reducción debe ser de máximo 5 segundos. Para que el tiempo de penumbra no exista en las ráfagas luminosas, debe asegurarse un retraso de reacción de 2 segundos. La luz de cruce puede estar encendida en la posición de conmutación de la luz de carretera, junto con los faros de luz de carretera (conexión simultánea). Por lo general, las lámparas de incandescencia resultan apropiadas para el funcionamiento con los dos filamentos durante un tiempo corto.

Luz de carretera, montaje

Para la luz de carretera se permite un mínimo de 2 faros y un máximo de 4.

Se permite la construcción conjunta y una dentro de otra con la luz de cruce. No está permitida la combinación con otras luces.

Luces de control prescritas en el interior del vehículo: de color azul o amarillo.

Luz de carretera, luminotecnia

La distribución de la luz de carretera se describe en las prescripciones y normas en relación con la luz de cruce.

Las principales características prescritas son: distribución simétrica con respecto al eje vertical central. Máximo de luz en el eje central del faro.

La intensidad luminosa máxima admisible como suma de las distintas intensidades luminosas de todos los faros de luz de carretera montados en el vehículo es de 225000 cd. Este valor se controla por medio de cifras de referencia, que se encuentran en todos los faros en las proximidades del símbolo de homologación. Las 225000 cd corresponden a la cifra 75. La intensidad luminosa de la luz de carretera se da, por ejemplo, por medio de la cifra 20 a la derecha junto al símbolo redondo de homologación de CEE.

Cuando un vehículo sólo está equipado con estos faros (ningún faro adicional para la luz de carretera), entonces la intensidad luminosa total asciende a los 40/75 de 225 000 cd, es decir, a 120 000 cd.

Ajustes de luz de cruce y de carretera

Fundamentos para la regulación
Dominar situaciones complejas, como pueden aparecer en el tráfico, exige una atención máxima y un funcionamiento óptimo del ojo humano.

Un buen alumbrado del vehículo y de la calzada ayudan a las percepciones de la vista humana de forma decisiva o incluso la hacen posible. Por ello a los faros de un vehículo se les ponen unas exigencias luminotécnicas altas, que se han de verificar mediante mediciones técnicas. En ellas están prescritas para la intensidad de iluminación unos valores mínimos, para una iluminación adecuada de la calzada, así como también unos valores máximos para evitar el deslumbramiento. Los faros para automóviles deben ayudar al máximo a las sensaciones de claridad, color y espacio así como también a las percepciones de formas y de movimientos, al igual como al reconocimiento de intensidad luminosa y de diferencias de colores.

Condiciones para el ajuste:

– Presión de los neumáticos según prescripción.
– El vehículo debe estar cargado (según el tipo de vehículo):
Turismos: una persona o 70 kg en el asiento trasero; camiones: sin carga; vehículos de una rueda por eje y vehículos tractores de un solo eje, una persona o 70 kg en el asiento del conductor.
– El vehículo debe rodar algunos metros, para que se compense la suspensión después de la carga.
– Colocar el vehículo sobre una superficie plana:
Colocar una superficie vertical de prueba a 10 m de distancia del vehículo, de forma que la marca central se encuentre delante del faro que hay que regular, en el sentido de la marcha.
– Regular cada faro por separado, cubriendo todos los demás.
– En vehículos con dispositivo de regulación manual del alcance luminoso poner aquél en la posición prescrita (tener en cuenta los datos del fabricante).

Tabla 2. Medida de ajuste "e" para el ajuste de los faros [1]

Tipo de vehículo	Faro	Faro antiniebla
	Medida de ajuste *e*	
	cm	cm
1. Vehículos, en los cuales el borde superior del espejo de los faros no queda a más de 135 cm de la superficie del suelo (a) Turismos (véase 1i) (b) Vehículos con suspensión de regulación automática de la inclinación del haz luminoso[2] (c) Tractores de varios ejes o máquinas de trabajo (d) Vehículos de una sola rueda por eje (e) Camiones con superficie de carga delante	12	20
(f) Camiones con superficie de carga detrás[3]) (g) Tractores semirremolque[3] (h) Omnibuses[3] (i) Turismos como furgonetas[3]	30	40
2. Vehículos en los cuales el borde superior del espejo de los faros queda a más de 135 cm. de altura sobre el suelo[4]	*H*/3	*H*/3+7
3. Máquinas de trabajo o de tracción de un eje con faros que van continuamente con la luz de cruce, para los cuales se especifica la inclinación necesaria del centro del haz luminoso[5])	2 *N*	20

[1] Los valores de los resultados obtenidos con ayuda de los aparatos de regulación de los faros deben satisfacer los valores de la tabla.

[2] Las características de estos aparatos deben tenerse en cuenta cuidadosamente según las instrucciones del fabricante.

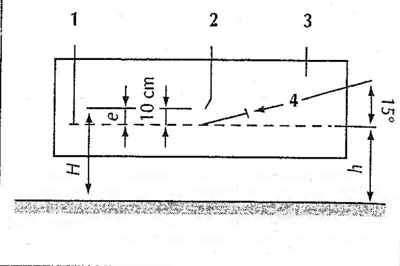
[3] Excepto vehículos según 1b.

[4] *H* altura del centro del faro sobre la superficie de apoyo, en cm.

[5] *N* medida prescrita de inclinación del haz luminoso a una distancia de 5 m.

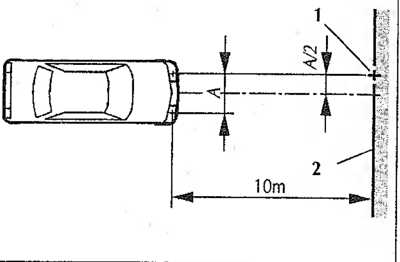
Superficie de comprobación para la luz de los faros

1 Línea de separación, 2 Marca central, 3 Superficie de comprobación, 4 Punto de inflexión
H Altura del centro del faro sobre la superficie de apoyo, en cm
h Altura de la línea de separación sobre la superficie de apoyo, en cm
e = H – h Medida de ajuste



Disposición de la superficie de comprobación en relación con el eje longitudinal del vehículo

1 Marca central,
2 Superficie de comprobación,
A Distancia entre centros de faros



Indicaciones para el ajuste:

La disposición de las marcas y líneas de calibración son, para faros normales, a la altura normal de montaje. Para ello la marca central se coloca a la altura H del centro del faro. La medida de ajuste *e* = 10 cm da la distancia vertical entre la marca central y la línea de separación.

En los faros con *e* > 10 cm, la línea de separación se lleva a la posición inferior correspondiente. La marca central, en estos casos, no está, naturalmente, a la altura

Tabla 3. Alcance geométrico de la parte horizontal del límite claro/oscuro de la luz de cruce
Altura de montaje de los faros 65 cm

Inclinación del límite claro-obscuro en % (1% = 10 cm/10 m)	1	1,5	2	2,5	3
Alcance geométrico en m de la parte horizontal del límite claro-obscuro	65	43,3	32,5	26	21,7

del centro del faro, pero sirve para comprobar la posición de las luces largas (cuando existen).

La parte izquierda (horizontal) del límite claro/oscuro debe ser regulada sobre la línea de puntos.

Medida de regulación e, véase la tabla 2.

En el caso de modificaciones y medidas en el vehículo, que influyen en la regulación de los faros (por ejemplo: suspensión), hay que volver a regularlos. Lo mismo se recomienda al cambiar una lámpara.

Si la luz de carretera va montada junto con la de cruce asimétrica (lámpara Bilux o Duplo), se lleva a la posición deseada corrigiendo la dirección de la luz de cruce.

Los faros independientes de luz de carretera se regulan horizontal y simétricamente, con respecto al centro del faro y la marca central.

Faros principales, prescripciones norteamericanas

Disposiciones y normas

Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS), Nº 108 y SAE Lighting Equipment and Photometric Tests (Standards and recommended practices). Las prescripciones para el montaje y conexión de los faros principales son equiparables a las europeas. Las diferencias principales residen en los sistemas de faros. Hasta 1983 únicamente se homologaban en EE.UU. los tamaños siguientes en el tipo constructivo de Sealed Beam:

Sistemas de dos faros:

- Redondos de 178 mm de diámetro
- Rectangulares de 200 x 142 mm

Sistemas de cuatro faros:

- Redondos de 146 mm de diámetro
- Rectangulares de 165 x 100 mm.

Desde 1983 es posible utilizar, por ampliación de la FMVSS Nº 108, juegos de faros de tamaño y forma a discreción, con lámparas recambiables, denominadas RBH (Replaceable Bulb Headlamps).

Los faros según normas de la CEE para vehículos de dos ruedas por eje, no están permitidos en EE.UU., pero pueden utilizarse en las motos.

Ajuste

Mientras que en Europa los faros se gradúan siempre visualmente por el haz luminoso, en Estados Unidos se ha instaurado principalmente el método de ajuste mecánico. Los conjuntos de faro llevan para ello 3 muescas en el cristal difusor que constituyen los planos de regulación. Un aparato de ajuste se inserta en las muescas, y se hace éste por medio de un nivel.

En el método de ajuste VHAD (Vehicle Headlamp Aiming Device) el faro es ajustado en relación al eje fijo de referencia del vehículo. Esto se realiza mediante un nivel montado fijamente en el faro. Las tres muescas en el cristal difusor ya no son necesarias.

Regulación del alcance del alumbrado

En la tabla 3 se dan los alcances geométricos a diferentes inclinaciones de faros, para una altura de montaje del faro de 65 cm. En los controles policiales se toleran inclinaciones hasta del 2,5% (1.5% por debajo del ajuste normal).La regulación del alcance del alumbrado debe cumplir las prescripciones legales de la UE: el ajuste de base según la medida *e* es de (10 hasta 15 cm) / 10 m, para lo cual el vehículo deberá estar cargado con una persona en el asiento del conductor. El valor del ajuste de base viene dado por el fabricante del vehículo.

En Alemania todos los vehículos que se incorporen al tráfico deben poseer, a partir del 1 de Enero de 1990, una regulación del alcance de los faros o bien una regulación de ello mediante ajuste manual, si no hay otros medios (p.ej. regulación del nivel) que garanticen las tolerancias de la inclinación del haz de luz. Otros países todavía no tienen estas exigencias, pero admiten su aplicación.

Las regulaciones automáticas del alcance de los faros deben montarse de tal manera que en cualquier estado de carga, el descenso o la elevación del haz de la luz de cruce permanezca entre 5 cm/10 m (0,5%) y 25 cm / 10 m (2,5%).

La regulación manual del alcance de los faros (desde el asiento del conductor) se acepta cuando tiene una posición de enclavado que corresponde al ajuste de base. La graduación del haz luminoso se comprobará en esa posición de enclavado. En los aparatos de regulación continua o en los de regulación escalonada deben existir unas marcas en las proximidades del conmutador manual de los estados de carga a los que hay que volver a regular el haz luminoso. En todos los tipos de regulación del alcance de los faros, el reflector del faro o el conjunto entero se regulan en dirección vertical por medio de elementos posicionadores.

El movimiento se realiza ya sea por medio de un conmutador en el asiento del conductor en las instalaciones accionadas a mano, o bien por medio de un indicador de nivel en el eje del vehículo en las instalaciones automáticas. Los indicadores de nivel transmiten una señal, proporcional al movimiento de los muelles de la suspensión, a los elementos posicionadores.

Instalaciones hidromecánicas

Están concebidas de tal manera que el caudal de liquido que se desplaza por los tubos de unión entre el conmutador manual (transmisor de nivel) y los elementos posicionadores, corresponde a la magnitud de ajuste.

Instalaciones de vacío

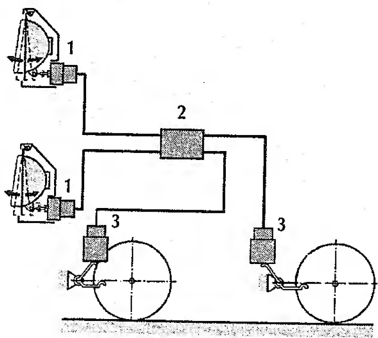
En estas se envía la depresión del tubo de aspiración a los elementos posicionadores como presión modulada desde el conmutador manual (transmisor de nivel).

Instalaciones eléctricas

Utilizan motores eléctricos con reductor como elementos posicionadores, con los conmutadores correspondientes en el espacio interior o con emisores de impulsos en los ejes.

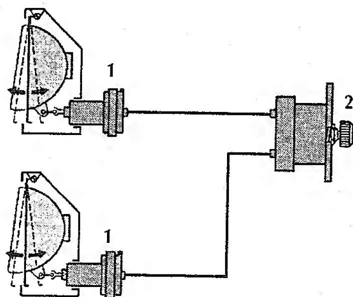
Regulación automática del alcance del alumbrado *(principio)*

1 *Elemento posicionador,* **2** *Punto adicional,* **3** *Indicador de nivel*



Regulación manual del alcance del alumbrado *(principio)*

1 *Elemento posicionador,* **2** *Conmutador manual*



Faros antiniebla

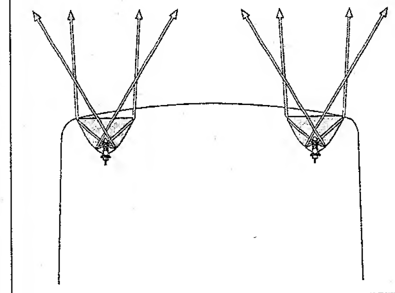
Los faros antiniebla deben mejorar el alumbrado de la calzada en caso de niebla, nevada, lluvia fuerte o nubes de polvo.

Principio óptico

Paraboloide
Un reflector parabólico con el filamento incandescente en su foco refleja la luz paralelamente al eje (igual que las luces de carretera), y por medio del cristal difusor se dispersa en una banda horizontal. Un diafragma limita la radiación luminosa hacia arriba.

Superficies de reflector homogéneas y calculadas por ordenador

Trayectoria de los rayos luminosos



Técnica CD
La técnica CD (Converging Diverging Technology), la cual es posible gracias a los métodos de cálculo por ordenador (CAL Computer Aided Lighting), permite difundir la luz directamente sin cristal difusor. Simultáneamente puede obtenerse, sin creación separada de sombras, un límite nítido entre claro y oscuro (limitación entre rayos de luz de diferentes direcciones).

Debido al amplio cubrimiento alrededor de la lámpara, resulta un volumen muy alto de luz con una difusión de ancho máximo.

Faros antiniebla PES
Mediante esta técnica se minimiza el deslumbramiento del propio conductor. El diafragma, cuya imagen es proyectada en la calzada, produce un máximo contraste del límite de claro/oscuro.

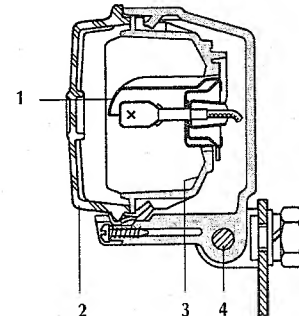
Tipos constructivos

Los faros antiniebla que son de montaje posterior, que llevan el conjunto óptico dentro del cuerpo, se montan o encima del parachoques o colgando debajo de él.

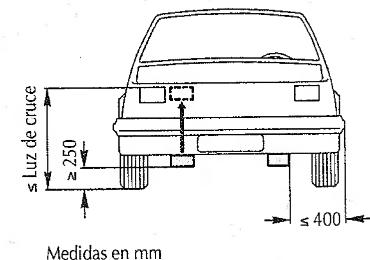
Cada vez más, por motivos de estética y aerodinámicos, se montan los faros como unidades incorporadas ya adaptadas al perfil de la carrocería, o bien formando parte de una unidad de luces (montadas conjuntamente con los faros principales. En estos casos, los reflectores son móviles para la regulación).

Faro antiniebla *(reflector parabólico)*

1 *Diafragma para la radiación,* **2** *Cristal difusor,* **3** *Reflector,* **4** *Eje para el ajuste vertical*



Faro antiniebla *(disposición)*



La mayoría de los faros antiniebla están preparados para luz blanca. Las ventajas de la luz amarilla no tienen fundamento fisiológico. El rendimiento luminotécnico de los faros antiniebla depende del tamaño de la superficie luminosa y de la distancia focal del faro. A igualdad de superficie luminosa y distancia focal, la forma del faro redonda o rectangular no produce diferencias significativas luminotécnicas.

Prescripciones

Según la Regulación 19 ECE, montaje posterior según 76/756/CEE, ECE-R 48-01, StVZO §52; se permiten 2 faros antiniebla de color blanco o amarillo. Se permite su montaje conjunto con otras luces delanteras y faros, pero no otras combinaciones. Se permite el montaje uno dentro de otro con los faros de las luces de carretera, las de posición y las de estacionamiento. La conmutación de los faros antiniebla debe ser posible, independientemente de la luz de carretera y las de cruce. Según el Código de la Circulación se pueden montar los faros antiniebla a más de 400 mm del punto más ancho del contorno del vehículo, siempre y cuando el conmutador asegure que el faro antiniebla sólo alumbre conjuntamente con la luz de cruce. Los faros antiniebla se ajustan igual que los faros principales. La medida de ajuste *e* se da en la tabla 2.

Faros adicionales de luz de carretera

Los faros adicionales de luz de carretera sirven para mejorar la eficacia de los sistemas de dos faros. El principio óptico es parecido al de los faros antiniebla, pero el cristal difusor está adaptado para las especificaciones luminotécnicas de la luz de carretera. Los tamaños y formas de los faros adicionales de luz de carretera y de los faros antiniebla son a menudo idénticos.

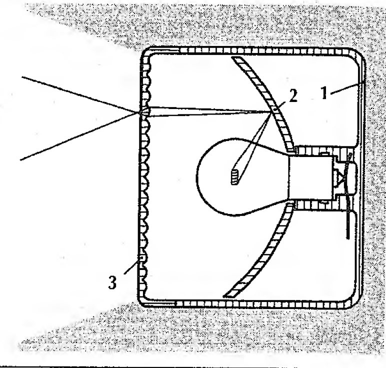
El montaje, la luminotecnia y el ajuste son los correspondientes a la luz de carretera. Los faros adicionales de luz de carretera también están sometidos a las condiciones de intensidad luminosa máxima admisible en los vehículos, en cuanto a que la suma de las cifras de referencia puede ser como máximo 75. Para los faros antiguos sin numero en el símbolo de homologación se supone la cifra 10.

Luces

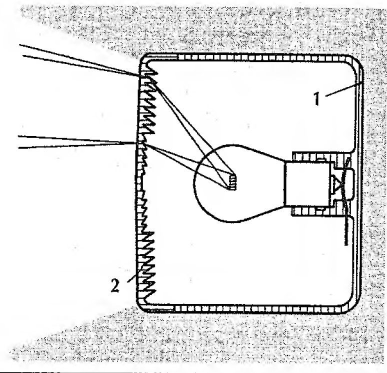
Normas constructivas y montaje, , ECE R6, R7 y R38 y el montaje posterior según la 76/756/CEE y el Código de Circulación StVZO §49a.

Con las luces debe poder reconocerse el vehículo y sus intenciones de movimiento. En principio existen dos posibilidades según el tipo constructivo, para cumplir con las exigencias luminotécnicas para luces.

Luces con óptica de reflector *(principio)*
1 *Cuerpo,* **2** *Reflector,* **3** *Cristal con lentes difusoras cilíndricas*



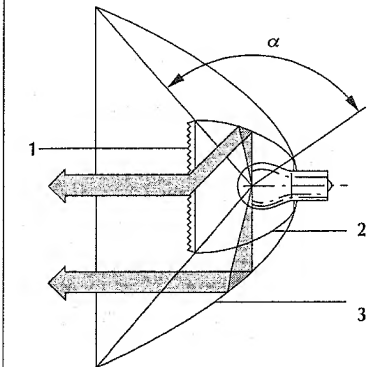
Luces con lentes de Fresnel *(principio)*
1 *Cuerpo,* **2** *Cristal difusor con lentes de Fresnel*



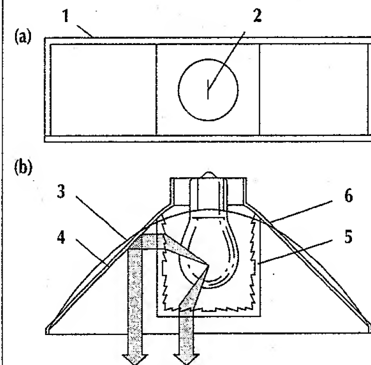
Luces con óptica de reflector

La luz de la lámpara es reflejada por medio de un reflector de la forma que sea (frecuentemente parabólico), en dirección próxima a la del eje y distribuida por un cristal con elementos ópticos difusores.

Reflector con parábola girada
1 *Lente de Fresnel,* **2** *Reflector parabólico,* **3** *Reflector GP,*
α Ángulo de cubrimiento



Luz de caja de lente
(a) *Vista frontal,* **(b)** *Vista en planta*
1 *Reflector,* **2** *Filamento incandescente,* **3** *Reflector parabólico,* **4** *Reflector angular,* **5** *Caja con lentes de Fresnel,* **6** *Espejo esférico*



Luces con lentes de Fresnel

La luz de la lámpara incide directamente, sin ser reflejada por el reflector, en el cristal difusor y por medio de lentes de Fresnel es refractada en las direcciones deseadas.

Las lentes de Fresnel por lo general son de poco rendimiento.

Luces con óptica de reflector y lentes de Fresnel

También se emplean con éxito combinaciones de ambos principios (p.ej. reflectores con parábola girada o luces con caja de lente) . Así el flujo lumínico de la lámpara puede ser captado, primeramente, mediante una geometría compleja del reflector con un ángulo máximo posible de cubrimiento y la luz se homogeneiza con lentes de Fresnel y se dirige en la dirección deseada.

Mediante el reflector GP (parábola girada) puede obtenerse, p.ej. con un mismo flujo luminoso, una reducción del volumen constructivo, es decir de la superficie de salida y de la profundidad del reflector y con una carga optimizada en referencia a la temperatura admitida para la lente.

Mediante la luz con caja de lente es posible aumentar el flujo lumínico aprovechable manteniendo la superficie de salida.

Luminotecnia/Intensidades de luz

Para todas las luces se exige un mínimo y un máximo de intensidad en la dirección del eje de referencia, los cuales por un lado garantizan la vistosidad de la señal y por el otro evitan las molestias del deslumbramiento a los demás participantes en el tráfico.

Respecto a ese eje de referencia, el valor de la intensidad de la luz hacia los lados, hacia arriba o hacia abajo de él puede tomar valores inferiores. Para ello se ha determinado un esquema porcentual (denominado "distribución normalizada espacial de la luz"). La medición luminotécnica de las intensidades luminosas en el vehículo es más sencilla que para la luz de cruce, porque sólo se controla el valor luminoso en el eje de referencia con el motor en marcha.

En todos los casos sólo se debe medir la luz de las luces solas (sin la influencia de la luz del día).

Indicadores de giro

76/759/CEE, ECE–R6 y StVZO § 54.
Se prescriben para los vehículos de dos vías el grupo 1 (indicadores de giro delanteros), el grupo 2 (traseros) y el grupo 5 (laterales).

Los indicadores de dirección del grupo 5 no son necesarios en los vehículos de menos de 6 m de longitud. Para las motos bastan los indicadores de dirección del grupo 2. El color de las luces de control de funcionamiento es de libre elección.

La frecuencia de destellos es de 90 ± 30 períodos por minuto.

Indicadores de giro delanteros

Las prescritas son 2 luces intermitentes de color amarillo.
Se permiten:

– el montaje conjunto con una o más luces.
– la combinación sólo está permitida con indicadores de giro de otros grupos y
– el montaje una dentro de otra sólo está permitido con las luces de estacionamiento.

Es obligatorio el control de su funcionamiento.

Indicadores de giro traseros

Las prescritas son 2 luces intermitentes de color amarillo.

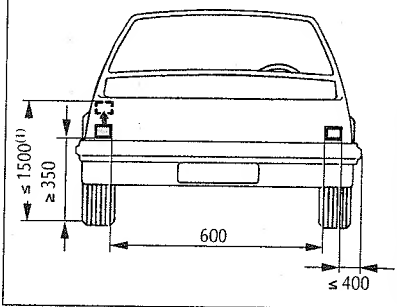
La disposición es igual que para los indicadores de giro delanteros, pero con la limitación adicional de que si la distancia a la luz trasera es menor que 300 mm, la distancia horizontal debe ser como máximo de 50 mm.

El montaje conjunto, la combinación y el montaje una dentro de otra, el control de su funcionamiento y la frecuencia de los destellos son iguales que para los indicadores de giro delanteros.

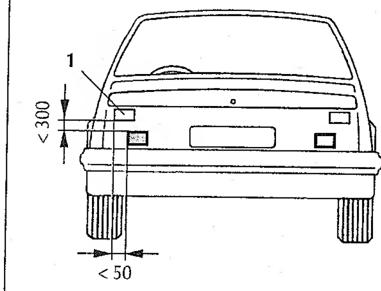
Indicadores de giro laterales

Las prescritas son 2 luces intermitentes de color amarillo.
Se permite el montaje conjunto y el montaje una dentro de otra, igual que para los indicadores de giro delanteros. La combinación sólo se permite con los indicadores de giro de otros grupos.

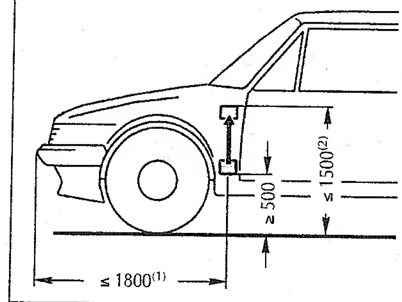
Indicadores de giro delanteros
(Disposición, medidas en mm)
(1) ≤ 2100 mm, cuando el tipo de carrocería del vehículo no permite mantener la altura máxima



Indicadores de giro trasero
(Disposición, medidas en mm). 1 *Luz trasera*
Ancho y altura igual que para los indicadores de giro delanteros



Indicadores de giro laterales
(Disposición, medidas en mm)
(1) o 2500 mm / *(2) o 2300 mm* } *cuando el tipo de carrocería del vehículo no permite mantener la medida máxima*



Luces de posición del vehículo

76/758/CEE, ECE–R7 y StVZO § 51 y § 53.
Los vehículos y remolques con un ancho total mayor de más de 1600 mm requieren de luces de delimitación (posición) (por delante). Luces de posición traseras (hacia atrás) son obligatorias para todos los vehículos. Si el ancho del vehículo es de más de 2100 mm (por ejemplo, los camiones), entonces, adicionalmente, hay que montarles luces de gálibo que se vean por delante y por detrás.

Luces de posición

Se prescriben 2 luces de posición, de color blanco. Se permiten también de color amarillo, cuando van montadas una dentro de otra con faros de luz amarilla (Francia).

La disposición es igual que en los indicadores de giro delanteros.

Se permite el montaje conjunto y uno dentro de otro con cualquier tipo de luces delanteras (o faros). Está muy extendido el montaje uno dentro de otro con el faro. La combinación con otras luces (o faros) no está permitida.

Luces traseras rojas

Se prescriben 2 luces traseras de color rojo.

La disposición es igual que en los indicadores de giro traseros.
Se permite:

– el montaje conjunto con cualquier otra luz trasera.
– la combinación con luces para la placa de matrícula trasera y
– el montaje una dentro de otra con las luces de freno, las luces de estacionamiento y las luces antiniebla traseras.

En el montaje una dentro de otra de las luces traseras y de freno la relación real de intensidad luminosa de las funciones individuales debe ser como mínimo 1:5. Las luces traseras deben encenderse conjuntamente con las de posición.

Luces de gálibo

2 luces de color blanco delante; 2 luces de color rojo detrás. Disposición: por el ancho lo más afuera posible y a la altura máxima posible. Se permite el montaje en conjunto con otras luces. No se permite la combinación ni el montaje una dentro de otra con otras luces.

Luces de freno

76/758/CEE, ECE–R48–01, ECE R7, StZVO § 53.

Luces de freno (principales)

Para cada vehículo se prescriben dos luces de freno de color rojo.
Se permite:

– el montaje conjunto con las luces traseras.
– la combinación con la luz de la matrícula sólo si al mismo tiempo la luz de freno está montada una dentro de otra con la luz trasera.
– el montaje una dentro de otra con las luces traseras o de estacionamiento.

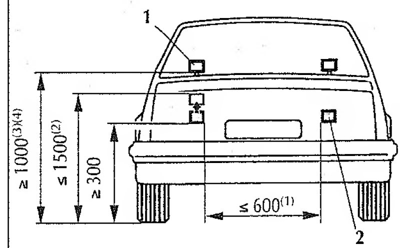
Cuando se montan una dentro de otra las luces de freno y traseras, la relación de intensidad de iluminación real de cada función debe ser como mínimo de 5:1.

Luces de freno adicionales altas

En Europa llega a ser obligatoria, para turismos, una luz adicional alta de freno, la cual debe estar situada en el centro y en posición elevada (CHMSL Center High-Mounted Stop Lamp).

La luz puede ir montada fuera o dentro del vehículo (detrás de la luneta trasera) y debe de encenderse juntamente con las luces (principales) de freno.

Luces de freno *(Disposición, medidas en mm)*
1 *Luz de freno adicional alta,*
2 *Luces (principales) de freno,*
(1) ≥ 400 mm (si el ancho < 1300 mm)
(2) ≤ 2100 mm (si no puede cumplirse con la altura máxima) o
(3) ≤ 150 mm debajo de la arista inferior de la luneta trasera,
(4) pero la arista inferior de la luz de freno adicional debe estar más alta que la arista superior de las luces (principales) de freno



Luces de niebla traseras

77/538/CEE, ECE–R38, StVZO § 53d.
En los países de la UE se prescriben una o dos luces de niebla traseras, de color rojo, para los vehículos de nuevo permiso de circulación

Se permite el montaje conjunto con cualquier otra luz trasera. No se permite la combinación con ninguna otra luz. Se permite el montaje una dentro de otra con las luces traseras o las de estacionamiento.

La superficie luminosa visible en la dirección del eje de referencia no debe sobrepasar los 140 cm². La conmutación debe asegurar que las luces traseras de niebla sólo pueden encenderse cuando lo estén las de cruce, carretera o niebla. Deben poder apagarse independientemente de los faros antiniebla.

Luces de control prescritas: color amarillo (en los vehículos homologados antes de 1981 también el verde).

Luces de marcha atrás

77/539/CEE, ECE–R23, StVZO § 52.
Se permiten 1 ó 2 luces de marcha atrás, de color blanco.

El montaje conjunto con todas las demás luces traseras está permitido. La combinación y el montaje una dentro de otra con otras luces no está permitido.

La conmutación debe asegurar que las luces de marcha atrás sólo se enciendan con la marcha atrás puesta y el encendido conectado.

Luces de estacionamiento

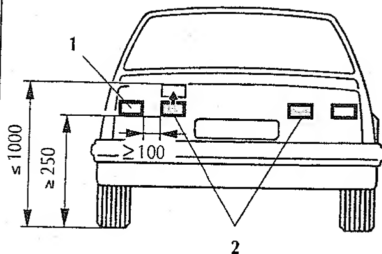
77/540/CEE, StVZO § 52.
Se permiten 2 luces de estacionamiento delante y otras 2 detrás, o 1 luz sola en cada lado. De color blanco delante y rojas las traseras. Se permite el amarillo para detrás cuando va montado conjuntamente con los indicadores de giro. Disposición igual que para los indicadores de giro.

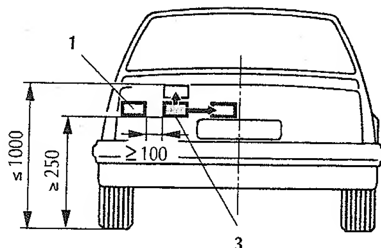
Se permite el montaje conjunto con cualquier otra luz. La combinación con otras luces, no está permitida. Se permite el montaje una dentro de otra con:

- las luces de posición,
- los faros principales y los faros antiniebla,
- las luces traseras,
- las de freno
- las de niebla traseras y
- los indicadores de giro laterales.

Las luces de estacionamiento deben poder estar encendidas, sin que lo estén otras luces (o faros). En la mayoría de los casos la función de la luz de estacionamiento se realiza con las luces de posición y las traseras.

Luces de niebla traseras
(Disposición, medidas en mm)
1 *Luz de freno,*
2 *Luces de niebla traseras (2 unidades),*
3 *Luz trasera de niebla (una unidad)*
Disposición para una unidad representada para circulación por la derecha





Luces de matrícula

76/760/CEE, ECE–R4, StVZO § 60.
La matrícula posterior debe estar iluminada de modo que pueda leerse de noche a 25 m de distancia. Están admitidos:

- el montaje en conjunto con todas las luces traseras
- la combinación con las luces traseras.

No se permite el montaje una dentro de otra.

La densidad de iluminación sobre la totalidad de la superficie de la matrícula debe ser como mínimo de 2,5 cd/m². En la superficie de la matrícula hay puntos distribuidos para la medición, entre los cuales el gradiente de densidad luminosa no puede exceder de 2 x B_{min}/cm, siendo B_{min} la densidad luminosa mínima medida en los puntos de medición.

Luces de circulación diurna

En Suecia y en Finlandia, desde 1982, son obligatorias 2 luces blancas o amarillas de circulación diurna para los vehículos de una y dos ruedas por eje, que deben indicar a los demás participantes del tráfico si el vehículo está en movimiento o está en disposición de moverse. Se permite el montaje en conjunto y la combinación con otras luces y faros. Las luces deben encenderse con el encendido y sólo pueden estar encendidas conjuntamente con la luz trasera.

La función de la conducción diurna también puede realizarse conectando las luces de cruce, si las intensidades luminosas coinciden con los valores prescritos. Es de esperar que también otros países prescriban luces de circulación diurna o el uso de las luces de cruce para la circulación diurna.

Otros aparatos luminotécnicos

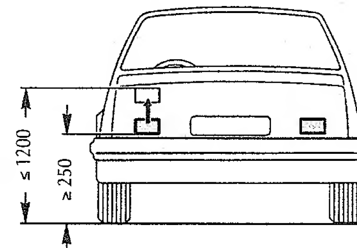
Luces omnidireccionales StVZO § 52, ECE–R65.
Las luces omnidireccionales deben actuar alrededor de todo el vehículo y causar el efecto de centelleo de un intermitente. La frecuencia de intermitencia está entre 2 y 5 Hz. Las luces omnidireccionales azules están admitidas para vehículos de preferencia. Las amarillas avisan de peligros.

Tabla 4
Intensidades mínimas de centelleo prescritas para luces omnidireccionales

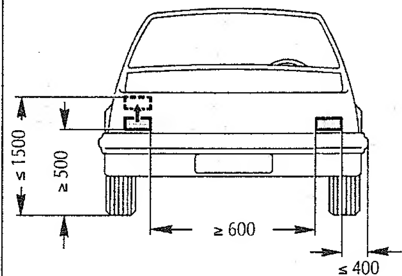
Intervalo de medición	Intens. de centelleo en cd	
	Azul	Amarillo
Paralelo al plano de la calzada	> 20	> 40
Dentro del haz de luz, Ángulo con el plano de la calzada ± 4°	> 10	
± 8°		> 30

Faro móvil
Los faros móviles producen un haz luminoso estrecho de elevada intensidad, con el que se puede alumbrar una pequeña superficie a gran distancia.

Luces de marcha atrás
(Disposición, medidas en mm)
1 *Luz de freno. Cantidad: una o dos*



Luces de conducción diurna
(Disposición para Suecia y Finlandia, medidas en mm)



Faros de trabajo
Los faros de trabajo sólo se pueden utilizar en circulación si el viaje pertenece al proceso de trabajo; por ejemplo en máquinas tractoras para agricultura y explotación forestal, en máquinas de trabajo automotrices y en vehículos de ayuda en accidentes.

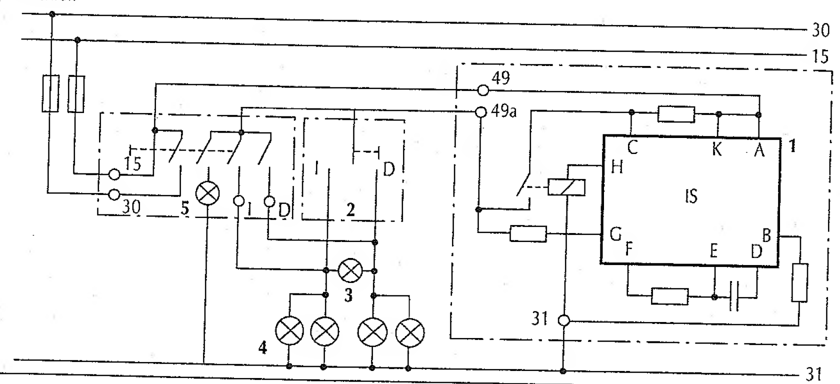
Instalaciones de señales ópticas

Prescripciones
Según la norma 76/756/CEE y la StVZO, los vehículos de por lo menos 4 ruedas y una velocidad máxima condicionada a su tipo constructivo, superior a los 25 km/h, deben llevar un dispositivo que emita señales ópticas en los cambios de dirección o para alarma.
Señales intermitentes: señales con 60 a 120 impulsos por minuto y una duración relativa de emisión de luz del 30% al 80%. Después de conectados debe encenderse antes de 1,5 s. Si falla un intermitente, los restantes deben seguir dando destellos perceptibles.
Intermitentes indicadores de giro: señal síncrona de todas las luces intermitentes de un mismo lado del vehículo. Las luces son controladas de forma eléctrica. Se indica si hay fallo de funcionamiento.
Intermitentes de alarma: intermitencia síncrona de todas las luces intermitentes, también con el motor parado. Un control de conexión está prescrito.

Instalación de intermitentes para vehículos sin remolque
El emisor electrónico de señales intermitentes de alarma contiene un emisor de períodos que conecta con las lámparas a través de un relé, y una conexión de control conmutada por corriente, la cual varía la frecuencia de la intermitencia al fallar la primera lámpara. El interruptor del intermitente conecta el indicador de giro y el interruptor del intermitente de alarma la intermitencia de alarma.

Instalaciones de intermitentes para vehículos con/sin remolque
Este emisor de intermitencia de alarma se diferencia del de los vehículos sin remolque por el tipo de control de funcionamiento de las luces intermitentes del indicador de giro.
Control de un circuito
El vehículo de tracción y el remolque tienen un circuito común de control, que dirige dos luces de control al ritmo de la frecuencia de intermitencia. No es posible la localización de fallo de lámparas. La frecuencia de intermitencia queda inalterada.
Control de dos circuitos
El vehículo de tracción y el remolque tienen circuitos de control separados. Las luces de control quedan oscuras, permitiendo la localización del fallo. La frecuencia de la intermitencia queda inalterada.

Instalación intermitente de un automóvil para indicador de giro y para alarma
1 *Emisor de intermitencia de alarma con circuito integrado IS o emisor de períodos G y etapa de control H,* 2 *Interruptor de intermitente,* 3 *Luz de control,* 4 *Luces de intermitentes,* 5 *Interruptor de intermitente de alarma con control de conexión*



Aparatos de comprobación del ajuste de los faros

Cometido
Los faros de los vehículos no deben deslumbrar a los vehículos que circulan en dirección contraria. La inclinación y la dirección lateral del haz luminoso deben regularse por ello según las prescripciones legales, tal como viene fijado en las "Normas para la regulación de los faros de los vehículos a motor" del Código de la Circulación StVZO § 50. La regulación se realiza generalmente por medio de aparatos ópticos de comprobación del ajuste.

Estructura del aparato
Los aparatos de comprobación del ajuste de faros son cámaras de proyección móviles, compuestas de una lente sencilla (objetivo) y una pantalla unida rígidamente a esta lente, situada en su plano focal. La pantalla captadora lleva las marcas necesarias para el ajuste y por medio de dispositivos especiales, por ejemplo, una mirilla o espejos de reflexión móviles, puede ser contemplada por el operario.

La medida de regulación prescrita para los faros, es decir, la inclinación respecto al eje central del faro, dada en cm a 10 m de distancia, se regula por medio de un mando de botón de giro que hace variar la pantalla.

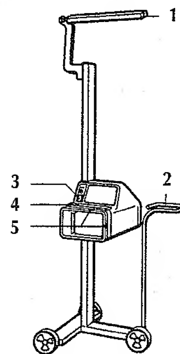
Para alinear el aparato de comprobación con el eje del vehículo se utiliza un dispositivo visor, por ejemplo, en forma de espejo con línea de mira. Por rotación se alinea el aparato de modo que la línea de mira toque igualmente dos marcas exteriores de referencia del vehículo. Para ajustarlo a la altura del faro, la cámara puede moverse a lo largo de una guía vertical y fijarse.

Comprobación de los faros
Cuando ya se ha colocado de esa forma el sistema óptico delante de la lente difusora del faro que se va a probar, se proyecta la luz del faro sobre la pantalla. En los aparatos preparados para ello también se puede medir la intensidad luminosa por medio de un fotodiodo con un instrumento de indicación.

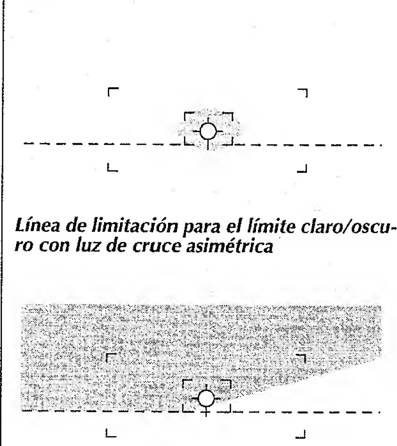
En los faros con luz de cruce asimétrica el límite claro/obscuro debe tocar las líneas de limitación, el punto de intersección entre la parte horizontal y la parte en pendiente debe estar en la vertical que pasa por la marca central.

Después de la graduación prescrita para el límite claro/obscuro de la luz de cruce, el centro del haz luminoso de la luz de carretera (en el ajuste conjunto de las luces de carretera y de cruce) debe quedar dentro de las esquinas de limitación alrededor de la marca central.

Aparatos para la comprobación del ajste de los faros
1 *Espejo de alineación,* 2 *Asa para moverlo,* 3 *Luxómetro,* 4 *Espejo inclinable,* 5 *Marcas para el centro de la lente*



Marca central para el centro de la luz de carretera



Línea de limitación para el límite claro/oscuro con luz de cruce asimétrica

Lámparas ECE-R37

Las lámparas para la iluminación de vehículos pueden ser de 6, 12 o 24 voltios. Para impedir confusiones, los casquillos de la mayor parte de los tipos de lámparas son diferentes entre sí. Algunas lámparas, a igualdad, tienen tanta diferencia de potencia, que ello excluye el uso erróneo. En el dispositivo se indica el tipo de lámpara requerido.

El rendimiento luminoso (lúmenes por vatio) indica el rendimiento luminotécnico en relación con la potencia eléctrica de la alimentación y es una de las magnitudes características de las lámparas. El rendimiento luminoso de las lámparas no halógenas es de 10 a 18 lm/W.

El rendimiento luminoso mayor de las lámparas halógenas H1 a H4, H7 o HS1 y HS2 (sólo para motos), de 22 a 26 lm/W es en primer lugar resultado de la mayor presión de gas. El bulbo de la lámpara permanece claro hasta que se funde el filamento, ya que el efecto halógeno impide el ennegrecimiento.

Las lámparas D2S de descarga de gas (Litronic) mejoran más la luz de cruce con un rendimiento luminoso de 85 lm/W.

Tabla 5. Datos de las lámparas de automóviles (sin lámparas para motos)

Utilización	Categoría	Tensión valores nominales en V	Potencia valores nominales en W	Flujo lumínico, valores nominales en lúmenes	Tipo de portalámparas IEC	Figura
Luz de carretera y de cruce	R2	6 12 24	45/40[1] 45/40 55/50	600 min/ 400-550[1]	P 45 t-41	
Luces adicionales de carretera, de carretera, de cruce y antiniebla en sist. de cuatro faros	H1	6 12 24	55 55 70	1350[2] 1550 1900	P14,5 e	
Luz de carretera y de cruce en Francia	H2	6 12 24	55 55 70	1050[2] 1800 2150	X 511	
Luz antiniebla, adicional de carretera	H3	6 12 24	55 55 70	1650/ 1450 1750	PK 22s	
Luz de carretera/de cruce	H4	12 24	60/55 75/70	1650/ 1000[1][2] 1900/1200	P 43 t – 38	
Luz de carretera, de cruce en sist. de cuatro faros, antiniebla (desde 1992)	H7	12	55	1500[2]	PX 26 d	
Luz de cruce en sist. de cuatro faros	HB4	12	55	1100	P 22 d	
Luz de carretera en sist. de cuatro faros	HB3	12	60	1900	P 20 d	

Tabla 5 *(Continuación)*

Utilización	Categoría	Tensión valores nominales en V	Potencia valores nominales en W	Flujo lumínico, valores nominales en lúmenes	Tipo de portalámparas IEC	Figura
Luces de freno, intermitente, posterior de niebla, de marcha atrás	P 21 W PY 21 W[7]	6 12 24	21	460[3]	BA 15 s	
Luz de freno, luces traseras	P 21/5 W PY 21 W[7]	6 12 24	21/5[4] 21/5 21/5	440/35[3][4] 440/35 440/40[3]	BAY 15d	
Luces de posición, luces traseras	R 5 W	6 12 24	5	50[3]	BA 15s	
Luces traseras	R 10 W	6 12 24	10	125[3]	BA 15s	
Iluminación matrícula, luces traseras	C 5 W	6 12 24	5	45[3]	SV 8,5	
Luces marcha atrás	C 21 W	12	21	460[3]	SV 8,5	
Luces de posición	T 4 W	6 12 24	4	35[3]	BA 9s	
Luces de posición, iluminación matrícula	W 5 W	6 12 24	5	50[3]	W 2,1 x 9,5 d	
Luces de posición, iluminación matrícula	W 3 W	6 12 24	3	22[3]	W 2,1 x 9,5 d	
Luces de cruce en sist. de cuatro faros (desde 1991)	D1S[5]	85 12[6]	35 aprox. 40[6]	3200	PK 32 d–2	
Luces de cruce en sist. de cuatro faros (desde 1994)	D2S[5]	85 12[6]	35 aprox. 40[6]	3200	P 32 d–2	
Luces de cruce en sist. de cuatro faros (desde 1996)	D2R[5]	85 12[6]	35 aprox. 40[6]	2800	P 32 d–3	

[1] Luces de carretera/cruce.
[2] Valores prescritos a tensión de comprobación de 6,3; 13,2 o 28,0 V.
[3] Valores prescritos a tensión de comprobación de 6,75; 13,5 o 28,0 V.
[4] Filamento principal/filamento cruce.
[5] Lámpara de descarga de gas: procedimientos de normalización aún no terminados.
[6] Con dispositivo electrónico previo.
[7] Variante amarilla.

Aparatos de señalización acústica

Prescripciones

La norma ECE R28, que rige internacionalmente, prescribe que las señales acústicas de los vehículos deben proporcionar un sonido uniforme y constante, cuya intensidad sonora durante el funcionamiento no puede variar perceptiblemente. La instalación de sirenas, campanas u otros, está prohibida, igual que el toque de melodías por medio de emisores de sonido regulados con temporizadores secuenciales.

Montaje

Las bocinas eléctricas han de acoplarse a la carrocería de forma flotante, para evitar que las partes de la carrocería que vibren perturben la pureza de tono y el volumen del sonido. Las bocinas son sensibles a las resistencias adicionales de la alimentación. Cuando se montan a pares en el vehículo, por lo menos el mando debe ser a través de relé en vez de a través del pulsador de la señal.

Bocina

Bocina normal

En las bocinas, la masa del inducido junto con la membrana de muelle forman un sistema oscilante. Al aplicar tensión a la bobina magnética a través del interruptor de mando, golpea el inducido con la frecuencia básica de la bocina contra el núcleo magnético. Por medio de estos fuertes golpes periódicos, el plato oscilante que está unido fijamente al inducido se excita y emite ondas de los armónicos superiores, cuya energía sonora máxima según las normativas legales debe estar en la banda de frecuencias de 1,8 a 3,55 kHz. De aquí se comprende el tono comparativamente alto de las bocinas, que radian principalmente en el eje de la bocina hacia delante, así como su buena propagación a través del ruido del tráfico a gran distancia.

El tamaño de una bocina es decisivo para la frecuencia de base y la intensidad sonora.

Bocina de tono fuerte

Las bocinas de tono fuerte, además de un mayor diámetro, también tienen un accionamiento eléctrico más potente. Por ello sus señales de aviso son perceptibles incluso en condiciones extremas (cabina de conductor de camión con un nivel de ruido elevado).

Bocina electroneumática

Posee el mismo sistema de accionamiento que la bocina normal, pero el inducido oscila sin golpes, libre del sistema magnético. La membrana oscilante pone en oscilación una columna de aire dentro de un tubo. La frecuencia de resonancia de la membrana y la de la columna de aire están relacionadas entre sí. Determinan el tono de la señal. Para conseguir un rendimiento favorable en la radiación del sonido, el tubo se ensancha en su extremo en forma de trompeta. Con el fin de conseguir un tamaño pequeño, el tubo de la trompeta está casi siempre enrollado en forma de caracol.

La existencia de muchos sobretonos en la zona baja del espectro de frecuencias da a las bocinas electroneumáticas un sonido melódico. La capacidad de penetración es inferior a la de la bocina normal a causa del reparto uniforme de la energía sonora sobre un espectro ancho.

Selección del tipo de bocina adecuado

Para viajes frecuentes por carreteras con tráfico de camiones, las bocinas de percusión son preferibles a las electroneumáticas por su mayor eficacia de aviso. En tráfico por ciudad son en cambio más adecuadas estas últimas, pues el sonido de aquéllas es a menudo demasiado alto y molesto para los peatones. Para estas exigencias diferentes pueden instalarse ambos sistemas con un conmutador para la circulación en ciudad o por carretera. Las frecuencias de las bocinas están normalizadas. La combinación de una bocina de tono alto con otra de tono bajo da siempre un doble timbre armónico.

Instalaciones de alarma contra robo

Prescripciones

Las instalaciones de alarma contra robo en vehículos deben cumplir los requisitos de StVZO § 38b y de ECE R18. Una instalación conectada emite señales de alarma al producirse en el vehículo una intervención no autorizada.

Señales de alarma admitidas

- Deben emitir durante 30 s, al conectarse, intervalos acústicos cortos con la bocina de serie o con una de señales adicional.
- Señales ópticas de centelleo durante máx. 5 minutos mediante los indicadores de giro (StVZO) o las luces de cruce durante 30 s.

Con manipulación repetida en el vehículo sólo se debe producir un nuevo disparo de la alarma después de haberse terminado el ciclo anterior. La desconexión de la alarma debe ser posible para el autorizado sin pérdida de tiempo. Las instalaciones de alarma no deben poder activarse mientras esté en marcha el motor. Las manipulaciones en el vehículo que no llegan a la entrada en el mismo (p.ej. sacudidas, etc.), no deben disparar la alarma.

Sistema de alarma para automóviles

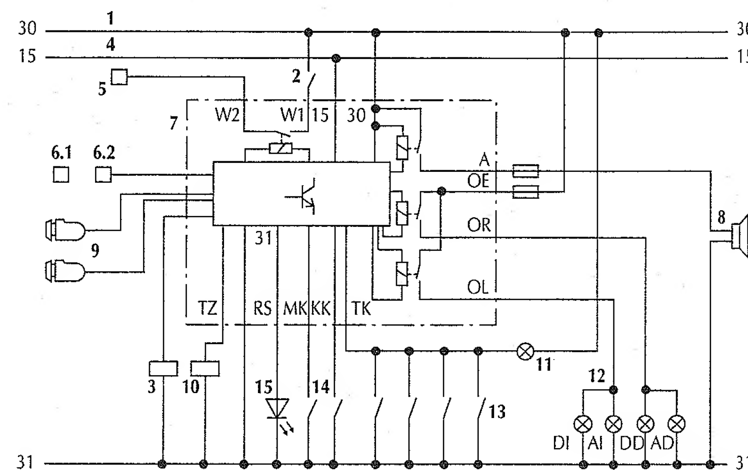
Sistema base

Un ejemplo de la práctica es representado en el esquema de bloques de conexiones. La unidad central evalúa las señales en las entradas, activa el sistema y conecta las señales de alarma a través de las salidas (bocina de señales, señales ópticas).

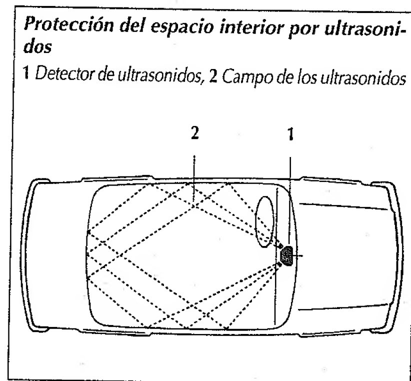
La conmutación de "conectado/desconectado" se efectúa mediante un mando a distancia de infrarrojos o de señales de radio, la cual trabaja con señales codificadas individualmente. Esto asegura el vehículo contra utilización no autorizada. La instalación solo puede conectarse con el encendido desconectado.

Instalación de alarma contra robo

1 *Batería,* **2** *Conmutador arranque,* **3** *Radio,* **4** *Encendido,* **5** *Motor de arranque,* **6** *Sistema de mando a distancia (***6.1** *transmisor,* **6.2** *receptor),* **7** *Dispositivo de mando instalación de alarma,* **8** *Bocina de alarma,* **9** *Vigilancia del interior del vehículo por rayos de ultrasonido,* **10** *Alarma de inclinación,* **11** *Luz interior,* **12** *Indicador de giro,* **13** *Interruptor de contacto de puerta,* **14** *Interruptor de contacto del capó y del maletero,* **15** *Indicación del estado*



Protección del espacio interior por ultrasonidos
1 Detector de ultrasonidos, 2 Campo de los ultrasonidos



Las entradas TK, MK, KK sirven como conexiones para los interruptores de las puertas, el capó y la cubierta del maletero. Una apertura de ellos provoca inmediatamente la alarma. Esto también sucede al interrumpirse el lazo de vigilancia de la radio y al hacer contacto de encendido. La salida activa los dispositivos externos adicionales, los cuales provocan la alarma a través de la entrada TZ.

Todas las entradas, independientes entre sí, pueden provocar sucesivamente la alarma. El bloqueo del motor de arranque impide la puesta en marcha no autorizada del motor.

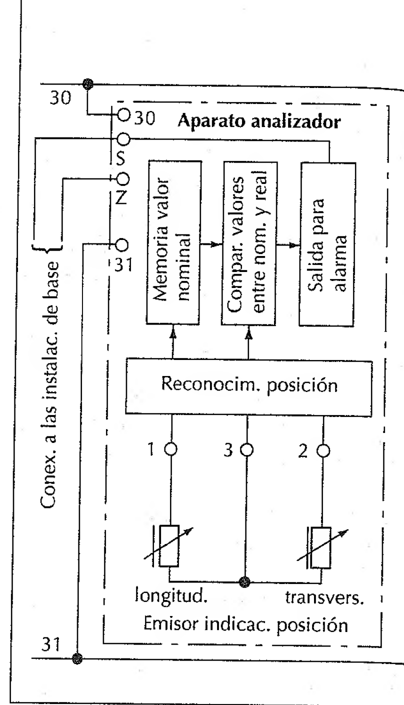
Un diodo luminoso en la salida RS centellea con la instalación conectada e indica con ello el estado del sistema.

Protección del interior con ultrasonidos

En el espacio interior del vehículo se genera un campo de ultrasonidos. Los movimientos o variaciones de presión, por ejemplo, el poner la mano o golpear un cristal, causan un cambio en dicho campo. Estos cambios son reconocidos por un detector de ultrasonidos. La electrónica de comprobación dispara inmediatamente la alarma. Para optimizar el efecto protector se puede graduar el umbral de respuesta de la alarma.

Para la evaluación del campo de ultrasonidos se utilizan los procedimientos de amplitudes, de eco de pulsaciones o el procedimiento basado en el efecto Doppler.

Protección electrónica contra robo de ruedas o arrastre del vehículo



Ampliación mediante instalaciones adicionales

Protección electrónica contra robo de ruedas o remolcado del vehículo

Esta instalación consta del captador de posición y del aparato analizador. Al estacionar el vehículo sobre una superficie plana o inclinada y conectar la instalación de alarma, esa posición queda programada como posición cero. Al sobrepasar el valor mínimo prefijado con respecto a la posición y variación de velocidad, la alarma se dispara. Las variaciones de posición normales, por ejemplo, pérdidas de aire en los neumáticos, tambaleo conocido del vehículo o reblandecimiento del suelo, son reconocidos por la electrónica y no causan el disparo de la alarma.

Bloqueo de puesta en marcha

Para asegurar los vehículos contra un uso no autorizado –además del bloqueo del encendido y del volante– se utilizan bloqueos electrónicos de puesta en marcha.

Después de desconectar el encendido, y a más tardar después de cerrar el vehículo, se activa automáticamente el bloqueo de puesta en marcha, dejando fuera de funcionamiento los dispositivos relevantes para el funcionamiento del vehículo. En sistemas con circuitos de interrupción se paralizan los dispositivos relevantes para el funcionamiento. Casi siempre son tres los circuitos que se interrumpen:

- arranque,
- alimentación de combustible y
- encendido o bomba de inyección diesel.

En el sistema con intervención codificada se paralizan o liberan una o varias unidades del vehículo mediante la introducción de un código.

Para desactivar se utilizan los siguientes sistemas:

Sistemas de radio/infrarrojos

Con un transmisor manual se transmite una señal codificada al dispositivo de bloqueo de puesta en marcha. La posibilidad de accionar desde fuera el cierre centralizado aumenta la comodidad.

Sistemas con aparato de respuesta

Un aparato de respuesta (transponder) transmite, a cortas distancias, una señal codificada hacia una bobina receptora (situada en o cerca de la cerradura de encendido). El sistema desconecta automáticamente al dispositivo de bloqueo de puesta en marcha, en cuanto el transponder está dentro del campo de recepción de la bobina.

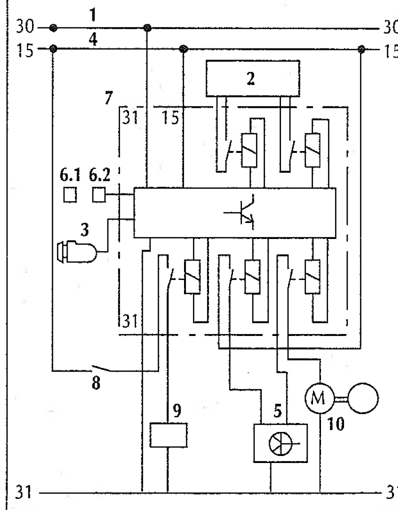
Llave electrónica

Después del acoplamiento galvánico entre llave electrónica y bloqueo de puesta en marcha, el sistema es desactivado.

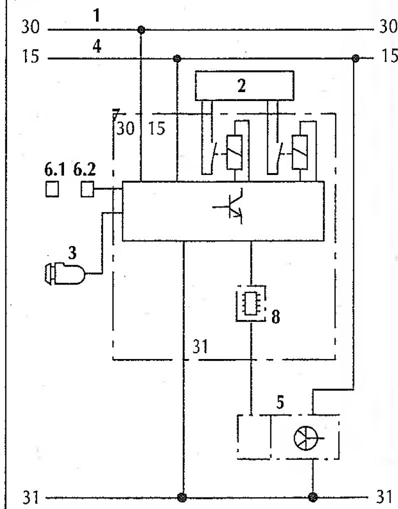
Pulsadores de códigos

A través de un campo de pulsadores se introduce una cifra secreta que desactiva el sistema.

Sistema de circuitos de interrupción
1 Batería, 2 Cierre centralizado, 3 Unidad de indicación, 4 Encendido, 5 Dispositivo de mando del motor, 6 Sistema de mando a distancia (6.1 Transmisor, 6.2 Receptor), 7 Dispositivo de mando del bloqueo de puesta en marcha, 8 Interruptor del motor de arranque, 9 Motor de arranque, 10 Bomba eléctrica de combustible



Sistema con intervención codificada
1 Batería, 2 Cierre centralizado, 3 Unidad de indicación, 4 Encendido, 5 Dispositivo de mando del motor, 6 Sistema de mando a distancia (6.1 Transmisor, 6.2 Receptor), 7 Dispositivo de mando del bloqueo de puesta en marcha, 8 Unidad de codificación



Limpieza de cristales

Las instalaciones de limpieza de cristales tienen por objeto satisfacer las exigencias legales de suficiente visibilidad siempre alrededor del vehículo.

Se dividen en:

- Instalación limpiaparabrisas
- Instalación de limpieza de la luneta
- Instalación de limpieza de los faros
- Instalación de lavado de los faros
- Instalaciones de lavado en combinación con alguna de las instalaciones de limpieza.

Instalaciones limpiaparabrisas

Sobre la base de las superficies de visión prescritas legalmente (Europa, EE.UU., Australia), se representan a continuación los sistemas de limpieza principales para parabrisas de turismos. Los campos barridos se pueden sobreponer por medio de accionamientos adicionales (paralelogramo, rectángulo articulado en general).

Las especificaciones sobre los limpiaparabrisas son:

- Eliminación de agua, nieve.
- Eliminación de suciedad (mineral, orgánica, biológica).
- Funcionamiento con calor (+80 °C) y frío (–30 °C).
- Resistencia a la corrosión contra ácidos, bases, sales (240 h), ozono (72 h).
- Vida de $1{,}5 \cdot 10^6$ períodos de barrido.
- Ensayo de bloqueo.

Accionamiento

Para el accionamiento se utilizan rectángulos articulados conectados en serie o en paralelo, y para grandes ángulos de limpieza o en condiciones difíciles de transmisión, también se utilizan bielas cruzadas o dobles efectos regulados.

Es importante el optimizado de los accionamientos. Igualando los valores extremos de la aceleración angular y/o del ángulo de ataque de la fuerza en los puntos de inversión del limpiaparabrisas se consigue un funcionamiento armónico en su mayor parte del recorrido.

Un segundo paso de optimización se refiere a la posición de trabajo del labio de la escobilla respecto a la superficie del parabrisas. Por medio de una posición adecuada del ángulo del soporte del limpiaparabrisas y por medio de una torsión adicional de los brazos del limpiaparabrisas, se predetermina la posición de las escobillas de tal forma, que en sus puntos de inversión quedan inclinadas lateralmente hacia las bisectrices del ángulo del campo barrido.

Escobillas

Las escobillas que se usan son de longitudes entre 260 y 1000 mm. Las medidas de la fijación (por ejemplo, de la fijación por enchufe de gancho), están normalizadas. Las medidas que se toman para sortear los juegos en las suspensiones y articulaciones cuidan de un funcionamiento con poco desgaste. Para disminuir el efecto de sustentación del aire a velocidades de circulación elevadas, las abrazaderas centrales de los brazos van agujereadas por la parte de atrás. En casos especiales se integran en los brazos o las escobillas aletas conductoras del viento para aumentar la presión de las escobillas contra el parabrisas.

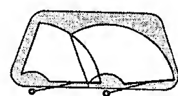
Goma de las escobillas

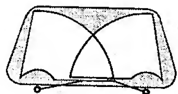
El elemento principal de la instalación del limpiaparabrisas es la goma de la escobilla. El fino doble canto limpiador de las escobillas, protegido por el riel de resorte y montado en el brazo del sistema, toca con un ancho de tan sólo 0,01 a 0,015 mm en el parabrisas. Con coeficientes de rozamiento en seco de 0,8 a 2,5 (dependiendo de la humedad del aire), y coeficiente de rozamiento en húmedo de 0,6 a 0,1 (dependiendo de la velocidad de rozamiento) y con un emparejamiento correcto del perfil y características técnicas de la goma, el labio, colocado encima del parabrisas, debe atacar con un ángulo de aproximadamente 45°.

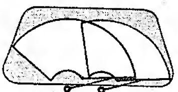
Instalación para la luneta

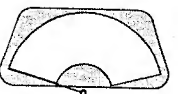
Su comportamiento en funcionamiento es igual que para el parabrisas, pero su vida se limita a 0,5 x 106 períodos de limpieza. Para circulación por la derecha se elige principalmente que el campo de limpieza sea cubierto con instalación a la derecha (vista en el sentido de la marcha), y, cuando las dimensiones de la luneta lo permiten, con una instalación de 180°.

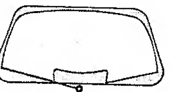
Sistemas de limpieza para el parabrisas


Sistema en el mismo sentido


Sistema en sentido contrario

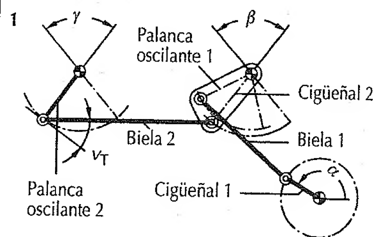

Sistema en el mismo sentido, favorable al flujo

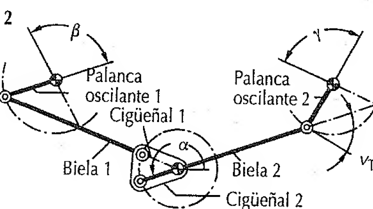

Sistema de brazo único, sin regular


Sistema de brazo único, regulado

Principios del accionamiento articulado de la instalación del lmpiaparabrisas

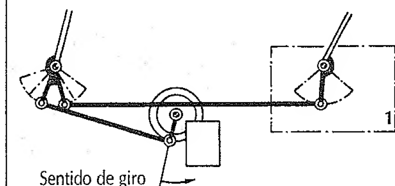
1 Conexión en serie, 2 Conexión en paralelo
v_T Ángulo de ataque de la fuerza tangencial

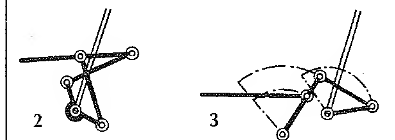


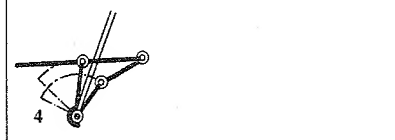


***Instalación de limpiaparabrisas en la misma dirección** (conexión en serie)*

El accionador parcial derecho puede ser:
1 Palanca oscilante, 2 Brazos cruzados, 3 Doble efecto escalonado, 4 Doble efecto regulado

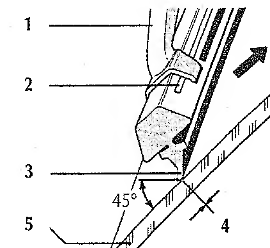






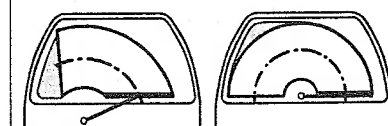
Goma de la escobilla en posición de trabajo

1 Brazo con garras, 2 Refuerzo, 3 Labio limpiador, 4 Fino doble canto, 5 Parabrisas



Campos de limpieza de luneta

Los campos obscuros muestran la falta de visibilidad para observar el tráfico que adelanta



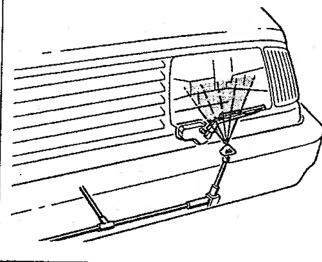
Instalaciones de limpieza de faros

Para la limpieza de los faros se han impuesto dos sistemas: la instalación de escobilla y lavado, y la de puramente lavado. En la instalación de escobilla y lavado se acciona directamente el brazo de una escobilla con un motor reductor; el agua necesaria se toma del recipiente de la instalación de lavado del limpiaparabrisas.

Las ventajas de la instalación de sólo lavado de faros son un montaje más sencillo y a menudo mejor adaptabilidad estética al faro. Es importante la adecuada disposición de las boquillas para que el faro sea bien rociado, a cualquier velocidad del vehículo, por el chorro de limpieza.

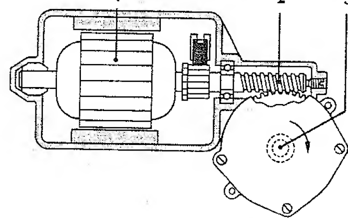
La ley dice que un faro sucio que tenga ya sólo el 20 % de su intensidad luminosa, debe recuperar en 8 segundos el 80% de su intensidad luminosa. La instalación debe poder realizar, como mínimo, 50 ciclos con una carga de liquido de limpieza.

Disposición de las boquillas de limpieza de faros (instalación de lavado y escobilla)



Motor de limpiafaro con engranaje de tornillo sin fin

1 Motor de corriente continua de excitación permanente, 2 Reductor de tornillo sin fin, 3 Extremo de árbol



Motores de accionamiento

Como motores de accionamiento se utilizan motores de corriente continua de excitación permanente. Para las instalaciones de limpieza llevan además un reductor de tornillo sin fin y en las de lunetas y faros, a menudo también accionamientos para convertir el movimiento circular en movimiento oscilante (engranajes de articulaciones, cremalleras o manivelas de disco).

La determinación de la potencia de los motores de accionamiento difiere de los accionamientos eléctricos corrientes. De acuerdo con las reglamentaciones legales y las prescripciones de utilización, el número de revoluciones de la primera etapa de limpieza es casi siempre de n_{B1} = 45 min^{-1}, y para la segunda etapa n_{B2} = 65 min^{-1}. Del rozamiento máximo de la goma se obtiene para cada brazo de escobilla un par de arranque, que el motor debe generar, de al menos n_A = 5 min^{-1}.

El par de arranque M_{An}, expresado en N_m, para el servicio de un brazo de escobilla se calcula mediante:

$$M_{An} = F_{WFN} \cdot \mu_{max} \cdot f_S \cdot f_T \cdot L_A \cdot (\omega_{Hmax}/\omega_{Mot}) \cdot (1/\eta_{Getr}) \cdot (R_{AW}/R_{AK})$$

F_{WFN} Fuerza decreciente nominal de apoyo del brazo de la escobilla en N (en movimiento relativo con el parabrisas)

μ_{max} Coeficiente de rozamiento en seco máximo de la goma de la escobilla (2,5 para φ = 93 % de humedad relativa del aire)

f_S Factor de aumento para tener en cuenta el rozamiento en las articulaciones del brazo de la escobilla (casi siempre 1,15)

f_T Factor de tolerancia para tener en cuenta la tolerancia en la fuerza de apoyo (casi siempre 1,12)

L_A Longitud del brazo de la escobilla en m

ω_{Hmax} Velocidad angular máxima del brazo de la escobilla

ω_{Mot} Velocidad angular media de la manivela del motor de la escobilla

$$\omega_{Hmax}/\omega_{Mot} \approx 0,15 \cdot (0,01 \cdot \omega_W)^2 + \mathrm{sen}(\omega_W/2)$$

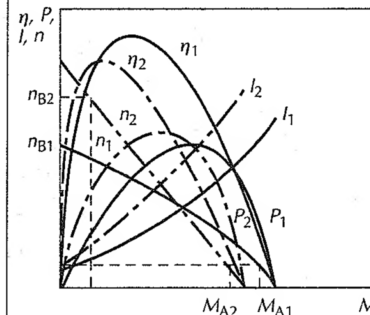
ω_W = Ángulo escobilla β o bien γ

η_{Engr} Rendimiento del reductor, casi siempre se supone 0,8; debe medirse aparte cuando hay elementos especiales de accionamiento (por ejemplo, brazos cruzados, doble efecto escalonado, múltiples juntas tóricas).

Curvas características de un motor de limpiaparabrisas

n Número de revoluciones, I Intensidad, P Potencia emitida, η Rendimiento, M Par

Los índices se refieren a las etapas de limpiaparabrisas 1 y 2



R_{AW} Resistencia eléctrica del bobinado del inducido calentado por el funcionamiento nominal

R_{Ak} Resistencia eléctrica del bobinado del inducido frío.

(R_{AW}/R_{Ak}) mayormente 1,25

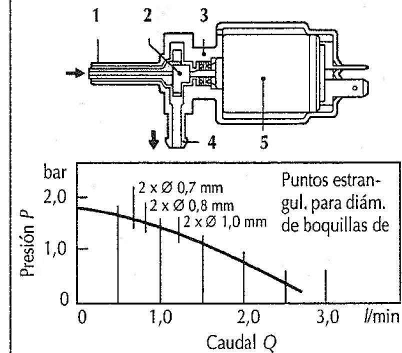
Otro factor para la selección del motor es la resistencia al cortocircuito, que es el tiempo que debe resistir el motor en estado bloqueado a la tensión de prueba completa sin que se queme el bobinado (casi siempre se fija t_K = 15 minutos).

De la carga por rozamiento y de la relación de transmisión se obtiene el par de accionamiento sobre un parabrisas mojado, con un 0 a 20% del par de arranque. En instalaciones de limpiaparabrisas muy grandes y parabrisas muy verticales (por ejemplo, en autobuses) también debe tenerse en cuenta el par de giro de la escobilla a causa de la gravedad (es un suplemento que se calcula aparte).

En motores de accionamiento de funcionamiento pendular (instalaciones de limpieza de lunetas traseras y de faros) debe determinarse a menudo también el par de giro en el eje oscilante.

Instalaciones de lavado – Bomba eléctrica con sus curvas características

1 Racor de aspiración con su tubo, 2 Rueda de aletas, 3 Cuerpo de la bomba, 4 Racor de presión, 5 Motor de corriente continua



Se calcula así:

$$M_H = F_{WFN} \cdot \mu_{max} \cdot f_S \cdot f_T \cdot L_A \cdot (R_{AW}/R_{AK})$$

Instalaciones de lavado

Las instalaciones de lavado son indispensables para la buena limpieza del campo de barrido de las escobillas. Se utilizan bombas centrífugas eléctricas de construcción sencilla (diagrama característico de la bomba), que aportan agua con aditivo de limpieza al parabrisas, a través de 2 o 4 boquillas y en forma de chorros puntuales. La capacidad del recipiente de agua suele ser normalmente de 1,5 a 2 *l*. Si con el mismo recipiente también se limpian los faros, se aumenta la capacidad a 5 a 7 *l*. Para la luneta se utiliza un recipiente aparte. A menudo la instalación de lavado está acoplada a la de limpieza correspondiente, por medio de una regulación electrónica, de forma que durante el tiempo en que se oprime el botón se realiza el regado con agua y luego los limpiaparabrisas correspondientes limpian todavía algunos períodos más.

Cristales

Los cristales de los vehículos son de vidrio de silicato. Composición del material (aproximadamente):

72 % SiO_2 corno substancia vitrificante

14 % Na_2O como fundente

10% CaO y 4% MgO como estabilizadores

Los cristales se fabrican de vidrio plano, que se funde por el procedimiento Floatglas. La fusión se realiza a 1550 °C, y pasa entonces el líquido por una zona de refino de 1500 °C a 1100 °C. El cristal líquido flota luego por encima de un baño de estaño y se enfría después a 600 °C. Aquí se producen las dos caras planas paralelas de muy alta calidad (abajo la superficie del baño de estaño, arriba la superficie por pulido al fuego). Tras la zona de enfriamiento que viene a continuación, se realiza el corte en bandas de 6,10 m x 3,35 m.

Según el tipo de elaboración se distingue entre:

- Cristal de seguridad de una sola hoja (ESG) y
- Cristal de seguridad compuesto (VSG), el cual se utiliza principalmente para los parabrisas.

Los cristales ESG se diferencian de los VSG por su mayor capacidad de carga mecánica y térmica y comportamiento a la rotura y al astillado. Los cristales ESG sufren un proceso de temple térmico, por medio del cual la superficie del vidrio recibe una fuerte compresión adicional. Cuando se rompen, estos vidrios se descomponen en muchos pequeños fragmentos de cantos romos.

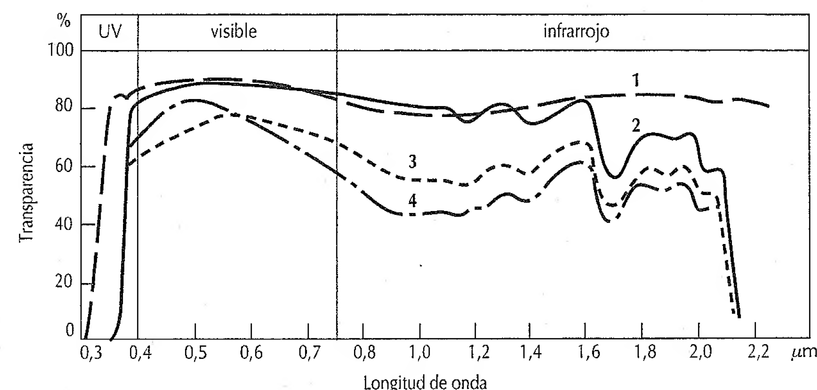
Por el contrario, los cristales VSG dan el modelo de astillado normal. Con ello se retiene mejor la visibilidad a través del vidrio una vez roto. En este caso van pegadas entre sí dos láminas de vidrio por medio de una hoja de plástico (polivinilobutiral).

Propiedades del material y datos físicos del vidrio y de los cristales terminados

Propiedades	Dimensión	ESG	VSG
Densidad	kg/m³	2500	2500
Dureza	Mohs	5 … 6	5 … 6
Resistencia a la compresión	MN/m²	700 …900	700 …900
Módulo E	MN/m²	68000	70000
Resistencia a la rotura por doblado			
antes del tratamiento	MN/m²	30[2]	30[1]
después del tratamiento	MN/m²	50[2]	
Resistencia al impacto de bola DIN 52 306 (a temperatura ambiente)	Nm	> 7 (bola de 227 g)	> 90[1] (bola de 2,26 kg)
Resistencia al impacto de flecha DIN 52 307 (a temperatura ambiente)			> 18[1]
Calor específico	kJ/kgK	0,75 … 0,84	0,75 … 0,84
Coeficiente de conductibilidad	W/mK	0,70 … 0,87	0,70 … 0,87
Coeficiente de dilatación térmica	m/mK	$9,0 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-6}$
Coeficiente dieléctrico		7 … 8	7 … 8
Propag. luz de color claro (DIN 52 306)	%	≈ 90	≈ 90[1]
Índice de refracción		1,52	1,52[1]
Ángulo de reflexión por prisma óptico	Minutos de arco	< 1,0 plano < 1,5 curvo	≤ 1,0 plano ≤ 1,5 curvo
Desviación dióptrica DIN 52 305	Dioptrias	< 0,03	≤ 0,03
Resistencia a la temperatura	°C	200	90[1] (max. 30′)
Resistencia a ciclos alternos de temperatura	K	200	

(1) Propiedades del vidrio de cristales compuestos terminados. En el cálculo de la solicitación por flexión no hay que tener en cuenta el efecto del acoplamiento de la hoja de PVB.
(2) Los valores calculados contienen ya los factores de los coeficientes necesarios de seguridad.

Propagación de la luz a través de los cristales de los vehículos
1 *Cristales Floatglass y ESG, de 4 mm de espesor,*
Cristales VSG de diferentes tonalidades, de 5,5 mm de espesor general,
2 *Incoloro,* 3 *Color de bronce,* 4 *Verde*



El desmenuzamiento y el pegado de las hojas sirven para evitar el peligro de heridas. En los cristales Securit, que son una versión mejorada de los VSG), se introduce aun otra hoja adicional de plástico de excelentes propiedades ópticas y mecánicas (por ejemplo, resistente al roce y al rayado).

Como protección contra el calor se utilizan vidrios teñidos de verde o de color de bronce, para limitar más el paso de la luz infrarroja que la de longitudes de onda más cortas. No obstante, con ello se reduce el grado de transmisión de la luz, en el intervalo visible, del 90 % al 80 %.

Características ópticas

Las propiedades ópticas de los cristales ESG y VSG son casi iguales, ya que las propiedades ópticas de las hojas de plástico, en el intervalo visible de la luz, concuerdan muy bien con las del vidrio.

Cristal de seguridad calentable

En los cristales de seguridad (ESG) calentables (lunetas térmicas) se imprimen las resistencias por serigrafía sobre el cristal todavía sin templar y se adhieren, durante el proceso de pretensado, por sinterizado. Con el posterior galvanizado las resistencias se hacen más fuertes, se mejoran y se protegen contra las inclemencias del medio ambiente. Las zonas del vidrio así tratadas, pueden protegerse del empañamiento por su calentamiento y, con una potencia calorífica mayor, también se protegen contra las heladas.

En el mantenimiento del vehículo deben protegerse estas zonas contra substancias corrosivas y abrillantadoras (por ejemplo, cloro, amoniaco, arena, ácidos).

En los cristales VSG se introducen alambres calefactores muy delgados, apenas visibles, de forma ondulada en las hojas de plástico adhesivas. Se conectan en serie y/o en paralelo, para conseguir la resistencia eléctrica prevista. Los finos alambres permiten una forma todavía mejor de la superficie calentada. En todos los casos, para turismos la potencia de calefacción está entre 3 y 5 W/dm².

Calefacción y climatización del habitáculo

Misión
La instalación de calefacción y de climatización de un vehículo (acondicionamiento del aire) tiene dos misiones principales:

- Proporcionar un ambiente agradable a todos los ocupantes
- Ofrecerle al conductor un ambiente libre de causas de cansancio y de cargas,
- Limpiar, en versiones más modernas, el aire de climatización por medio de filtros, de partículas (polen, polvo) e incluso de olores,
- Asegurar una buena visibilidad a través de todos los cristales.

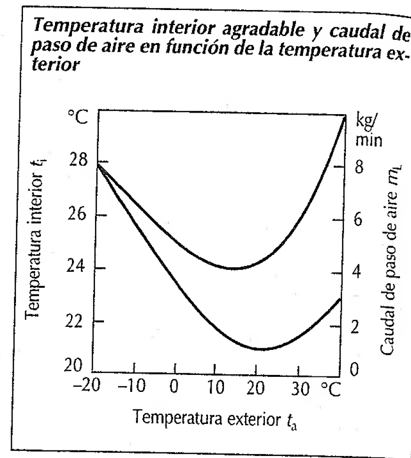
La función de la calefacción, especialmente junto con el mantenimiento libre de vaho y hielo, está regulada por ley en muchos países (por ejemplo, en la CE por la norma CEE 78/317y en EE.UU. por la norma de seguridad MVSS 103).

Instalaciones de calefacción dependientes del motor

En vehículos con motores refrigerados por líquido, el espacio interior se calienta por el calor que cede el motor al líquido refrigerante, y con motores refrigerados por aire únicamente, por medio del calor que cede el aceite del motor. Un cuerpo calefactor compuesto de tubos y aletas (fundamentalmente parecido al radiador de enfriamiento del líquido refrigerante) es atravesado, por una parte, por el liquido refrigerante y, por la otra, por la corriente de aire que entra. La regulación de la potencia calorífica se puede realizar por el agua o por el aire.

Instalaciones reguladas por el agua
En las instalaciones con regulación por el agua siempre pasa la totalidad del caudal de aire a través del calefactor. La cantidad o caudal de liquido refrigerante, y con ello la potencia calorífica, se regula por medio de una válvula. La regulación exacta a menores potencias, por ejemplo en primavera y otoño, precisa de una repetida y estable graduación de caudales de paso muy pequeños. Esto pone grandes exigencias a las válvulas utilizadas. Además, la potencia calorífica depende de la presión y temperatura del liquido refrigerante y del número de revoluciones momentáneo y la carga del motor.

Temperatura interior agradable y caudal de paso de aire en función de la temperatura exterior



Instalaciones reguladas por el aire
En las instalaciones reguladas por el aire, siempre circula el mismo caudal de liquido refrigerante adaptado a la calefacción, a través del calefactor. Para regular la potencia, se divide la cantidad de aire antes de llegar al calefactor; una parte pasa por él y la otra se desvía, volviéndose a unir ambas en una cámara mezcladora. Una mariposa de aire regula de forma continua la relación del reparto y con ello la cantidad de calor que se toma del liquido refrigerante. Esta regulación depende menos del estado de funcionamiento del motor. Además se produce sin retraso la variación de temperatura del aire, lo que facilita su utilización. Cuando la calefacción está fuera de servicio una válvula de cierre interrumpe la corriente de liquido refrigerante a través del calefactor y evita el calentamiento residual a su través.

Las instalaciones reguladas por el aire, son menos ventajosas a causa del mayor espacio de montaje necesario para el canal de circunvalación.

La ventilación se realiza por ventiladores eléctricos graduables en varias etapas o de forma continua; al aumentar la velocidad del vehículo actúa también la presión dinámica. La cantidad de aire que circula por hora debe ser como mínimo de 30 m³/h por persona (valor sólo indicativo). La consecución de un ambiente agradable viene determinada por las magnitudes influyentes tales como la temperatura interior, la exterior, el caudal de aire y, en parte, también por la radiación (véase la figura). La importancia cuantitativa de estas magnitudes varía fuertemente de un vehículo a otro y sólo se puede determinar por ensayos.

Puesto que en un vehículo hay un espacio interior relativamente pequeño, la aparición de corrientes y radiaciones a través de las ventanas, dificulta las condiciones para la calefacción y climatización. Para el bienestar de los ocupantes hay que buscar un gradiente de temperatura desde la parte superior del cuerpo, de modo que en los pies sea unos 4 a 8 °C más alta.

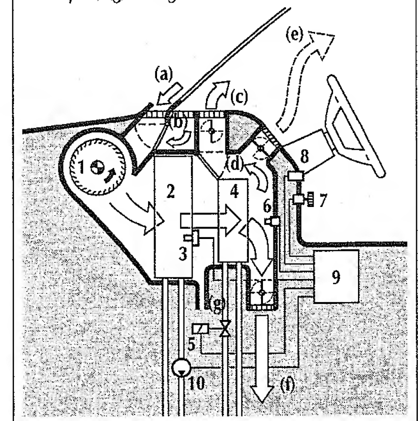
Regulación electrónica de la calefacción
Por las variaciones de temperatura exterior y de velocidad de circulación se producen cambios de la temperatura en el interior, que obligan al ajuste manual continuo de la calefacción del habitáculo. La regulación electrónica de la calefacción mantiene la temperatura interior deseada y regulada de la forma muy constante.

Para la regulación de la temperatura en las calefacciones reguladas por el agua, las sondas de temperatura miden la temperatura del interior del habitáculo y la del aire que sale. Los resultados son evaluados en una proporción determinada, que el regulador compara con el valor nominal que se haya prefijado. El regulador da unos impulsos, a un ritmo regular, a una válvula electromagnética que se encuentra en el circuito del líquido refrigerante que la abre y cierra con una frecuencia temporizada determinada. Variando la proporción de abertura dentro de una duración de impulsos igual, se puede ajustar el caudal de paso desde cero hasta el máximo. En las instalaciones reguladas por el aire, se regula la mariposa de mezcla para la temperatura, casi siempre por medio de un motor eléctrico, pero a veces se hace por medio de un accionamiento neumático lineal, de forma continua. En el caso de instalaciones muy sofisticadas hay una regulación aparte para el lado derecho y otra para el lado izquierdo del vehículo.

Instalaciones de climatización

La calefacción tiene la misión de crear bienestar, pero sólo lo puede satisfacer en parte. Con temperaturas exteriores superiores a los +20 °C sólo se pueden conseguir las temperaturas interiores necesarias por enfriamiento del aire. Para ello se utilizan exclusivamente compresores refrigerantes con el medio de enfriamiento R 12 (sustituido desde 1995 por el R34a, más ecológico). El compresor accionado por el motor comprime el medio refrigerante, en forma de vapor, que con ello se calienta. En el condensador anexo se enfría el medio, por lo cual se licúa. El calor adquirido en el compresor se cede entonces al medio ambiente. El líquido enfriado se introduce a través de una válvula de expansión en el evaporador y se evapora. El calor necesario para la vaporización se toma del aire

Instalación de climatización electrónica regulada por agua (principio)
1 *Ventilador,* **2** *Evaporador,* **3** *Sensor de temperatura del evaporador,* **4** *Calefactor,* **5** *Válvula electromagnética,* **6** *Sensor de temperatura del aire de salida,* **7** *Posicionador del valor nominal,* **8** *Sensor interior (con ventilación),* **9** *Dispositivo de regulación,* **10** *Compresor;*
(a) *Aire fresco,* **(b)** *Aire reciclado,* **(c)** *Descarchado,* **(d)** *Desviación AC,* **(e)** *Ventilación,* **(f)** *Compartimiento de los pies,* **(g)** *Desagüe*



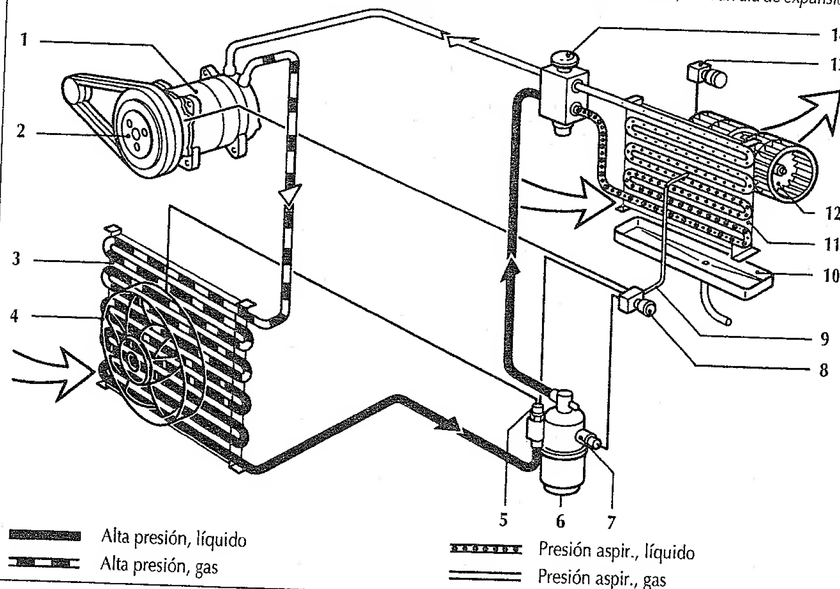
nuevo que entra. La humedad de ese aire se retira en forma de agua de condensación al enfriarlo. La desecación que se consigue es por otra parte deseable. El evaporador y el condensador son, por lo general, intercambiadores de calor de tubos redondos con aletas. El evaporador se encuentra en la corriente de aire nuevo, delante del calefactor, de forma que en el proceso de refrigeración, graduable sólo de forma aproximada por conexión y desconexión, el aire enfriado será siempre recalentado con precisión en el calefactor.

Instalaciones de climatización con regulación

Especialmente en los vehículos con instalación de calefacción y de refrigeración, resulta ventajoso el funcionamiento de la climatización, pues para los ocupantes es muy difícil que conozcan todas las medidas de regulación para lograr un ambiente agradable y realizarlas. Esto es cierto, sobre todo, para los conductores de autobuses, que sólo notan el ambiente en la parte delantera del vehículo. Las regulaciones automáticas con selección de programa cuidan automáticamente de la temperatura adecuada dentro del vehículo, así como del caudal de aire y su distribución. Estas magnitudes siempre están relacionadas entre sí y no se pueden variar libremente. El circuito regulador de temperatura constituye la parte esencial del aparato. El mando electrónico detecta tanto todas las magnitudes que influyen y perturban como también el nivel de temperatura elegido por los ocupantes y da continuamente, mientras funciona, un valor nominal t_i, que se compara con la temperatura real y la diferencia apreciada genera en el regulador las magnitudes de accionamiento para la regulación de la calefacción, refrigeración y caudal de aire. Otra función activa el posicionamiento de la mariposa distribuidora del aire, en función del programa que los ocupantes hayan elegido. Todos los circuitos de regulación pueden modificarse con datos introducidos a mano.

Circuito del medio refrigerante en una instalación de aire acondicionado

1 Compresor, 2 Embrague eléctrico (para acoplo o desacoplo del compresor), 3 Condensador, 4 Ventilador adicional, 5 Presostato de alta presión, 6 Recipiente del líquido con cartucho desecante, 7 Presostato de baja presión, 8 Termostato o regulación de dos puntos (para el compresor embragado(desembragado), 8 Sonda de temperatura, 10 Bandeja para el agua condensada, 11 Evaporador, 12 Ventilador del evaporador, 13 Conmutador del ventilador, 14 Válvula de expansión



El valor nominal de la temperatura determinado por la regulación se consigue con la regulación por el agua o por el aire (tal como se ha descrito para la "regulación electrónica de la calefacción").

El caudal de aire puede llevarse al valor nominal aplicando diversas etapas del ventilador o variándolo de forma continua. En general, se trata de una regulación sin procesado del valor real. A altas velocidades este dispositivo no es suficiente porque la presión dinámica que se origina eleva la cantidad que se alimenta. Una regulación especial puede, en primer lugar, reducir el número de revoluciones del ventilador hasta llegar a su parada total al aumentar la velocidad de marcha y, a presiones dinámicas todavía más altas, limitar el aire que entra a través de una mariposa de estrangulamiento.

La distribución del aire se realiza a través de aireadores a tres alturas; de deshielo, media altura y pies, ya sea a mano, con programación o totalmente automática. Se emplean mucho los circuitos de servicio programados, en los que por medio de un pulsador se puede graduar el reparto determinado del aire a los tres niveles.

Un caso especial lo constituye el servicio de descarchado. Con el fin de liberar lo más rápidamente posible los cristales de condensaciones o de hielo, el regulador de temperatura debe estar a la máxima potencia de calentamiento, el ventilador a su máximo número de revoluciones y la distribución de aire puesta hacia "arriba". En los circuitos programados y los completamente automáticos se realiza esto por medio de un pulsador único, que a temperatura por encima de 0 °C seca el aire también en la instalación de refrigeración. Para evitar las corrientes de aire frío en invierno, al arrancar con el motor todavía no caliente, el ventilador queda bloqueado electrónicamente hasta que se alcanza la temperatura media del líquido refrigerante, excluyendo la posición "DEF" y el campo de enfriamiento.

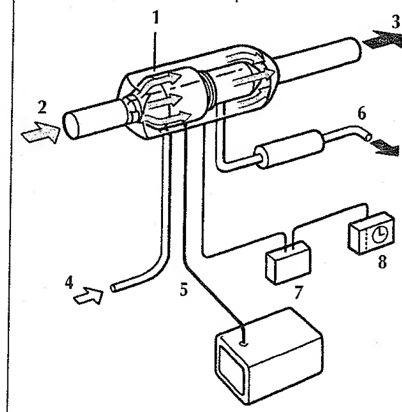
Los tipos descritos sirven tanto para los turismos como para los camiones. Especialmente complicada es la regulación de la climatización en autobuses. El espacio interior de estos vehículos puede dividirse en zonas de regulación, en cuya temperatura se influye por regulación del número de revoluciones de una bomba de agua particular para cada zona.

Instalaciones de calefacción independientes del motor

Las calefacciones independientes del motor funcionan con el combustible del vehículo, y en vehículos grandes hasta con suministro propio de combustible. El combustible es aspirado por una bomba eléctrica e inyectado a través de un pulverizador a una cámara de combustión, donde se mezcla con aire y se quema. Los gases de escape calientes pasan por un intercambiador de calor, donde, según el caso, se calienta directamente el aire del habitáculo o el liquido refrigerante del motor que circula movido por una bomba eléctrica. Con ello se puede aprovechar la calefacción normal por agua caliente del vehículo para atemperar el habitáculo. Este precalentamiento del líquido de refrigeración independiente del motor permite además un mejor comportamiento en el arranque en frío en invierno.

Calentamiento del aire independiente del motor

1 Aparato de calentamiento del aire con ventilador de aire caliente y escape de la combustión, cámara de combustión e intercambiador de valor, 2 Entrada del aire caliente, 3 Paso del aire caliente al interior del vehículo, 4 Entrada del aire de la combustión, 5 Entrada de combustible, 6 Instalación de escape, 7 Regulador electrónico, 8 Reloj conmutador selector de la hora de conexión y termostato de temperatura ambiente



Autorradio

Condiciones de recepción

En las ondas ultracortas (frecuencia modulada) los lugares de recepción crítica resultan p.ej. por las "sombras" de las emisiones producidas por montañas o edificios (consecuencia: ruidos) o en la recepción retrasada en el tiempo de ondas reflejadas por dichos obstáculos (consecuencia: distorsiones). Otros factores de interferencias: sobreposición de emisiones habladas de emisoras vecinas, productos de intermodulación de dos emisoras potentes que emiten una tercera frecuencia interferida.

Terminología técnica

ARI: sistema de información sobre el tráfico, desarrollado en conjunto por Blaupunkt, el automóvil club alemán ADAC y las emisoras públicas alemanas ARD, instalado en Alemania, Suiza, Austria y Luxemburgo: Información por radio del automovilista (ARI).

Las emisoras de frecuencia modulada equipadas con una "emisora de situación del tráfico", se dan a conocer a través de una señal emitida constantemente (SK), reconocida por los receptores equipados con un decodificador correspondiente. Si está activado el pulsador ARI, entonces el receptor sintoniza solamente las emisoras con información sobre el tráfico.

La señal adicional emitida (BK) marca la región a la cual hacen referencia las noticias de tráfico de dicha emisora. En receptores con procesamiento de los valores BK aparece, en su pantalla, una letra (de la "A" hasta la "F") de la región correspondiente (ver las letras en los rótulos de información azules de las carreteras).

Una tercera señal se enciende si se está transmitiendo una noticia sobre el tráfico: la distinción de noticia (DK). Ella se de ocupa que toda noticia sobre el tráfico se pueda escuchar claramente (regulable), independientemente de si la radio esté ajustada a muy bajo volumen en aquel momento o bien si en aquel momento se esté escuchando un cassette o un CD (estos equipos se paran durante la transmisión de la noticia).

Receptor con diversidad de antena: este sistema de recepción de radio con varias (generalmente dos) antenas en el vehículo, (p.ej. antenas en las lunas) sirve primariamente para mejorar la recepción en el caso de reflexiones de ondas. Puesto que las interferencias de reflexión ("Multipath") llevan a una fuerte dependencia de ubicación en el campo local de 50 a 100 cm, en la mayoría una de las dos antenas, a suficiente distancia entre ellas, se encuentra en un campo sin interferencias. El sistema de diversidad conmuta automáticamente la antena con menos interferencias. Esto se puede realizar por distintos medios.

(a) Sistema convencional de búsqueda (1-Tuner-diversity):
Si la calidad de recepción en la antena "A" baja por debajo de un cierto límite de calidad, entonces se conmuta en forma de prueba la antena "B" y si "B" es peor que "A", se vuelve a "A". Si "B" es mejor, se mantiene "B", etc.

(b) Sistema de selección (Multituner-Diversity):
Cada antena trabaja con un sintonizador separado. Así es posible la constante comparación de la calidad de recepción entre las antenas, pudiéndose escoger siempre la que tenga calidad óptima.

ADA (Auto Directional Antenna): Sistema de recepción de varias antenas desarrollado por Blaupunkt, en el cual cada antena trabaja con su propio sintonizador, al igual que en el sistema de selección (b), pero en vez de efectuarse una selección de las señales, aquí se efectúa una especie de suma de las señales de sintonización (hasta cuatro) de las antenas, después de una modificación apropiada de sus niveles de amplitudes y de fases. La regulación de las amplitudes y de las fases se efectúa mediante un algoritmo de regulación de tal modo que la suma de señales queda exenta lo más posible de interferencias. De esta forma se pueden enmascarar selectivamente ciertas direcciones de recepción, obteniéndose así una especie de efecto de antena electrónica direccional.

ADA ha sido concebido para la utilización de varias antenas en lunas y/o antenas sencillas de alambre o de láminas dentro de parachoques.

ASU: supresión automática de interferencias en la frecuencia modulada de autorradios contra las del encendido.

Potencia de salida: es la potencia que suministra un autorradio o un amplificador adicional ("Amplifier", "Booster") a los altavoces. DIN 45 324b diferencia entre potencia sinusoidal (potencia continua máxima) y potencia musical (potencia temporal máxima) expresadas en W. Entre volumen de sonido y potencia de sonido existe una relación exponencial. Al doblar la potencia se consigue un aumento, apenas posible de percibir, de aumento de volumen (3 dB). Más decisivo es el rendimiento de los altavoces (Nivel en dB/1 W/1 m) Si por ello, en la práctica, pueden ser despreciables "diferencias de potencias en wats", puede ser de interés la instalación de equipos potentes para la reproducción sin distorsiones de los tonos bajos (→altavoz de automóvil→ subwoofer).

CD (Compact Disc): es un disco de 12 o 8 cm de ∅, con señales digitales grabadas (entre otras señales de sonidos) y con una duración de la grabación de hasta 74 minutos. La lectura se efectúa ópticamente y sin contacto mediante un rayo láser. Si el rayo se encuentra con una elevación ("pit") en la capa reflectante, se amortigua el rayo de retorno, captado por un prisma. Esto es registrado por un fotodiodo, el cual traslada las informaciones cero/uno a un transformador analógico/digital. Un nuevo valor de amplitudes de 16 bits es comunicado 44 100 veces por segundo con lo cual el transformador analógico/digital vuelve a recomponer la señal musical original.

PCI (Programme Comparison and Identification): sistema autárquico de identificación de emisoras, independiente de la infraestructura RDS, en el Blaupunkt Berlín IRQ 85/88. Actualización de los datos de la emisora mediante cassette de datos. Optimización de la recepción mediante diversidad automática de frecuencias, no audible mediante tecnología de dos sintonizadores.

RDS (Radio Data System): sistema de transferencia de datos digitales para emisora de frecuencia modulada. En Europa está definido uniformemente el formato del "telegrama de datos" del RDS. Son transferidas las siguientes informaciones, las cuales pueden ser evaluadas por autorradios (o también receptores de casco) con decodificadores RDS:
- nombre del programa de recepción (p.ej. "BAYERN 3" o "BBC 1") para su indicación en el display del receptor (código PS).
- lista de las frecuencias alternativas, en las cuales el programa recibido en este momento también es transmitido (código AF). Si empeora la calidad de recepción de la frecuencia actual, entonces el receptor RDS conmuta en forma de prueba a una de las frecuencias de la lista AF. Si esta última es una frecuencia mejor, se queda en ella. Si la frecuencia alternativa es peor, entonces lo intenta con otra frecuencia. Según sea el modelo del aparato, este procedimiento es inaudible.
- para el control, cada programa posee un número propio de identificación (código PI). Los códigos del programa recibido hasta ahora y del programa sintonizado en la frecuencia nueva, deben coincidir, porque de no ser así se produce un cambio no admitido de programa.
- marcaje del programa con informaciones sobre el tráfico y de la transmisión de noticias de tráfico (códigos TP y TA). El receptor RDS evalúa los TP y TA, respectivamente ARI–SK y –DK, (→ARI). Puesto que en Europa no existía ningún sistema implantado, tenía su lógica implantar el RDS. El ARI, el sistema hasta aquel entonces utilizado en Alemania, Suiza, Austria y Luxemburgo continuará vigente a largo plazo y paralelamente al sistema RDS. En todos los países del norte, oeste y sur de Europa pueden recibirse programas con los servicios a.m. del RDS, en la mayoría los programas nacionales así como también algunas emisoras privadas.

El formato RDS contiene ulteriores opciones para aplicaciones futuras, p.ej.:
- **PTY (Programme Code)**: identifica hasta 16 tipos de programas como noticias, música clásica, música electrónica, etc.
- **"PTY 31"**: señal de mando para la conexión en caso de comunicados de alarma para la población (parecido al TA). La función PTY 31 no puede desactivarse.
- **Código EON (Enhanced Other Networks)**: el receptor reconoce si en una emisora paralela se están transmitiendo comunicados sobre el tráfico, pudiendo cambiar hacia la sintonía de dicho programa paralelo durante la transmisión del comunicado.

Además el EON permite, solo en autorradios Blaupunkt, sintonizar directamente a otro programa de la misma emisora.

– **Código TMC (Traffic Message Channel)**: servirá en un futuro para la transmisión formalizada de informaciones estándar , p.ej. acerca de retenciones en el tráfico. Éstas se reproducen mediante un generador de voz –en cualquier idioma opcional– en cualquier momento. Sistemas de guía del conductor que pueden tener en cuenta inmediatamente los comunicados sobre obstáculos para calcular inmediatamente el nuevo trayecto óptimo.
– **Código MS (Music/Speech)**: para la adaptación automática del volumen y tipo de sonido para recepción de música/información hablada.
– **Código CT (Clock/Time)**: Hora/Fecha.
– **Código DI (Decoder Information)**: información de mando para el receptor, p.ej. la identificación de un programa emitido en estéreo con sistema Dolby.
– **Código PIN (Program-Item Number)**: equivale a la función VPS conocida en el campo del vídeo/TV y sirve para grabar emisiones mediante un mando preprogramado.
– **Código RT (Radio Text)**: transmisión de textos para receptores con display apropiado, p.ej. indicación del título musical de lo que se está transmitiendo.
– **Código RP (Radio Paging)**: transmisión de llamadas y noticias breves para participantes individuales. Aprovechamiento de la infraestructura existente del sistema de emisoras de frecuencia modulada para servicios de "paging".
– **Código TDC (Transparent data Channel)**: previsto para presentar textos sobre una pantalla, además es posible una transmisión de gráficos o programas.
– **Código NWS (National Warning System)**: previsto para comunicaciones internas a órganos nacionales de seguridad o de protección civil.

Aparatos auxiliares

– **Amplifier, Booster**: → potencia de salida
– **Equalizer**: los ecualizadores se utilizan para influir en el tondo del sonido, de manera que permitan una subida o bajada de niveles de los distintos tonos (intervalos de frecuencias). Las acentuaciones excesivas o amortiguamientos de tonos (no-linealidades), causadas por las condiciones acústicas específicas del habitáculo del vehículo, pueden compensarse con un ecualizador. Los "ecualizadores paramétricos" llevan a resultados óptimos.
– **Cambiador de CD**: reproductor de CD para ser montado en el maletero. Los cambiadores de CD son cargados con chasis que pueden llevar– según sea su ejecución – hasta 12 discos. La selección del disco y del título de la obra se efectúan mediante un mando a distancia a través de un autorradio equipado convenientemente o bien con un mando aparte del cambiador.

Altavoces para automóviles

La calidad de reproducción viene determinada por las características acústicas del habitáculo del vehículo, los altavoces y sus condiciones de montaje. Cuanto mayores sean los altavoces, mejor será la reproducción de los tonos bajos (p.ej. sistemas de cuatro de 160 mm). Para instalaciones exigentes de audio se utilizan de forma creciente altavoces de bajos profundos (subwoofer), los cuales se instalan de forma escondida debajo de la bandeja posterior o en la pared divisoria hacia el maletero. Sistemas de subwoofers condicionan generalmente la instalación de → amplificadores de gran potencia.

Antenas

La efectividad de las antenas en vehículos aumenta con su distancia a los componentes masivos del vehículo. Las antenas de varilla telescópica dan buenos resultados. Hay también "antenas automáticas" que se extraen con un motor. Una alternativa a ellas son las antenas de lunas que vienen ya de fábrica incorporadas en el parabrisas o en la luneta y los cristales laterales, o bien son aplicadas, como accesorio posterior por la cara interna de los vidrios. Debido a su característica de antena direccional, este tipo de antenas es ligeramente inferior en sus prestaciones con respecto a las antenas de varilla, presentando sin embargo las ventajas de estar exenta de desgastes y de mantenimientos. En comparación con la antena de varilla no produce resistencia al aire y no precisa de espacio en el vehículo para su retracción. Una tercera alternativa la forman las antenas flexibles de varilla corta, las cuales son una solución intermedia.

Sistemas de aparcamiento

Ayuda de marcha atrás "Park-Pilot" con sensores de ultrasonidos

Las carrocerías modernas limitan de tal forma la visibilidad, que los obstáculos apenas si pueden verse o no se ven en absoluto. Especialmente en el caso de obstáculos muy bajos, como mojones o vehículos con morro muy bajo, el conductor pierde la noción la distancia real y por ello no puede aprovechar bien el espacio disponible para aparcar. El Park-Pilot, con sus programas instalados, permite la indicación directa de la distancia a un obstáculo.

Estructura
El dispositivo "Park-Pilot" consta de dispositivo de mando, indicación (opcionalmente lámparas o LCD con indicación digital) y – según sea el vehículo – dos o tres sensores, los cuales contienen ya sea un emisor o un receptor de ultrasonidos.

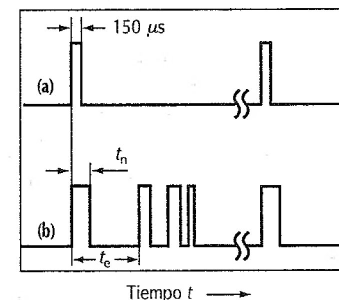
Principio de medición
El dispositivo trabaja según el procedimiento de la ecometría. A intervalos regulares (aprox. 30 ms) los sensores son accionados cíclicamente un período breve (aprox. 150 ms). Así el sensor activado es el emisor y el o los otro/s sensores sólo receptor/es. Durante este tiempo y un tiempo de oscilación posterior de la membrana, por razones físicas, se emiten ondas de ultrasonido (aprox. 30 kHz). A continuación también el sensor emisor conmuta a receptor. Todos los sensores captan las ondas sonoras reflejadas por los obstáculos. Del tiempo de espera entre la primera señal de eco se calcula la distancia s al obstáculo:

$$s = 0{,}5 \cdot t_e \cdot v_s$$

con t_e tiempo de espera
y v_s = 340 m/s (velocidad del sonido en el aire).

Funcionamiento
El aparato es activado al poner la marcha atrás y primeramente efectúa una autocomprobación. Para ello son conectadas todas las indicaciones para su control y secomprueba el funcionamiento de los sensores. A continuación el dispositivo indica el funcionamiento correcto mediante la indicación de su estado de funcionamiento o de la distancia a un obstáculo. Si se reconoce un fallo (p.ej. la rotura de un cable) o una interferencia acústica (p.ej. un martillo neumático), entonces durante aprox. 3 segundos se emite un tono de aviso. El campo de 0 a 160 cm detrás del vehículos es comprobado y subdividido en cuatro rangos parciales (Tabla). Un modo especial de calibración sirve para adaptar el sistema a las más diferentes condiciones de montaje.

Formas de los impulsos
(a) Impulso de emisión, (b) Impulso del eco, t_n Tiempo de oscilación posterior (aprox. 1 ms), t_e Tiempo de espera



Señalización del Parkpilot

Campo	Distancia en cm al obstáculo	Indicación óptica	Señalización acústica
I	160 ... 100	Indicación perramente	–
II	100 ... 50	Indicación perramente	Interrumpido cíclicamente[1]
III	50 ... 30	Indicación perramente	Tono continuo
IV	≤ 30	Indicación centellante	Tono continuo

[1] La duración de la pausa se reduce al reducirse la distancia del vehículo al obstáculo

Ayuda de aparcamiento con sensores de ultrasonidos

Para su aplicación a sistemas de aparcamiento se han desarrollado sensores que se montan muy bien y sobre todo a ras de las superficies de la carrocería o los parachoques por su forma reducida, mediante la integración del circuito en uno específico integrado de aplicación. Además se reduce mucho el cableado.

La ayuda de aparcamiento consta de cuatro a diez sensores, un dispositivo de mando y tres elementos de aviso, que transmiten al conductor, de forma acústica y óptica, el funcionamiento, la distancia o los fallos detectados por el sistema (p.ej. rotura de un cable).

Sensor

El sensor consta de un pequeño recipiente de aluminio con vaporizado selectivo, un disco piezo como emisor de sonidos y de la electrónica completa par la producción del ultrasonido y la evaluación de las ondas sonoras reflejadas. Los niveles transmitidos equivalen a la tensión de la lógica y por ello son insensibles a interferencias y no hace falta ningún apantallamiento. La característica de emisión y recepción abarca un amplio espectro (ver diagrama direccional). Así el lado de un vehículo puede ser detectado casi sin lagunas por cuatro sensores (ver figura de los campos de aseguramiento)

Dispositivo de mando

El dispositivo de mando contiene la obtención de la tensión y los accionadores de entrada y salida para los sensores y para las indicaciones así como también un microprocesador que se encarga, además del mando de los componentes citados, de la vigilancia y grabación de todos los fallos detectados, que ayuda efectivamente a la diagnosis en el taller.

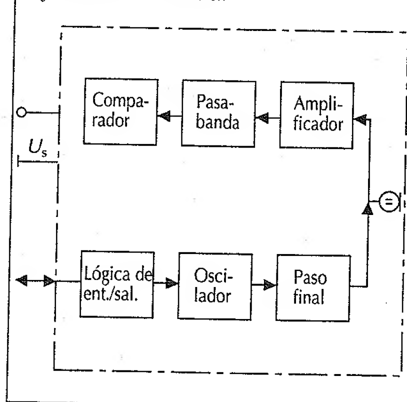
Elementos de aviso

Para la indicación de la distancia están previstos tres elementos de aviso. La indicación óptica sirve principalmente para la indicación del estado de servicio (el marco se ilumina) y para la indicación de la distancia en el intervaloo entre 25 cm y 1 m. Para ello se utiliza un barógrafo , cuyos segmentos se iluminan en color amarillo y, en el intervalo de aviso, de color rojo. En el intervalo de aviso se emite además una señal acústica para comunicar claramente el peligro.

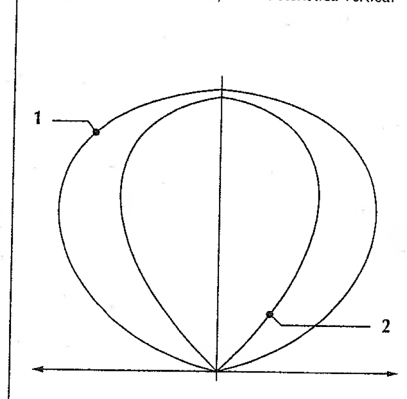
Descripción del funcionamiento

El sistema para aparcar ha sido concebido de tal forma que se puede utilizar como mera vigilancia del espacio posterior o como sistema de aparcamiento. La selección del sistema es programada por el fabricante al final de la banda de montaje.

Esquema de bloques del sensor
U_s Tensión de alimentación



Características de emisión y recepción
1 *Característica horizontal,* 2 *Característica vertical*

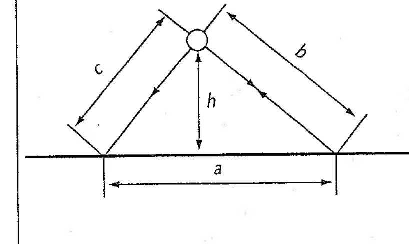


Al conectar el encendido se activa el sistema. Se efectúa una autocomprobación de los sensores (incluyendo el cableado) y desactiva el sistema si detecta algún fallo. El estado del sistema es señalizado acústicamente al conductor e indicado ópticamente. Opcionalmente el conductor puede desconectar la instalación mediante un conmutador, p.ej. durante la marcha en caravanas de paro y marcha a 15 km/h. A una velocidad hacia delante inferior a los 15 km/h, se activan solamente los sensores delanteros. Al colocarse la marcha atrás, se activan también los sensores en el parachoques posterior.

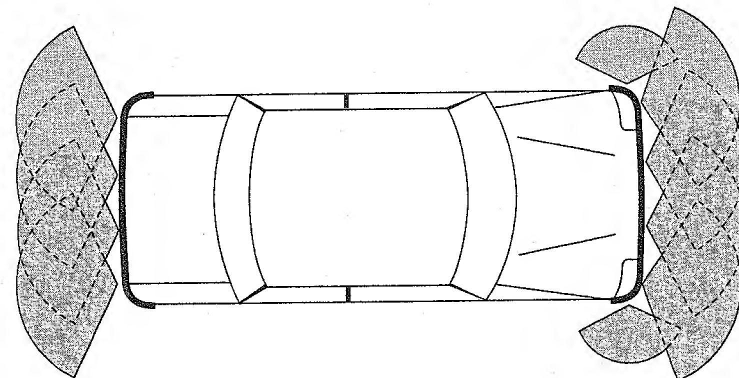
Los sensores son accionados de forma cíclica aprox. cada 25 ms y producen un impulso de ultrasonido de aprox. 1 ms de duración. A continuación todos los sensores conmutan a recepción, para "escuchar" las ondas sonoras emitidas. Por el tiempo de espera de las ondas sonoras del sensor emisor reflejadas y captadas por el sensor receptor se calcula la distancia entre el obstáculo y el parachoques. La distancia menor en cada caso es comunicada al conductor. En el caso de obstáculos extensos (como p.ej. una pared u otro vehículo) la distancia menor medida corresponde a la distancia efectiva. En el caso de obstáculos "individuales" (como mojones o postes de luz), puesto que todos los sensores "también escuchan", se calcula la distancia efectiva h entre el obstáculo y el parachoques, según las condiciones representadas en la figura, con la siguiente fórmula:

$$h = \sqrt{c^2 - \frac{(a^2 - b^2 + c^2)^2}{4 \cdot a^2}}$$

Cálculo de la distancia para obstáculo individual
a Distancia sensor transmisor – sensor receptor,
b Distancia obstáculo – sensor emisor,
c Distancia obstáculo – sensor receptor,
h Distancia obstáculo – parachoques



Campo de aseguramiento del sistema de aparcamiento



Registrador de viaje

Indica la velocidad de marcha, el trayecto recorrido (cuentakilómetros), la hora y si se sobrepasa una velocidad prefijada, se enciende una lámpara de aviso (por ejemplo, al llegar a la velocidad máxima permitida o al límite máximo fijado de marcha económica). Además de la indicación quedan registrados los siguientes datos en un diagrama, en forma de disco, sincronizado con la hora: transcurso de la velocidad, de marcha y de paro, y trayectos recorridos. El registrador del viaje tiene que ser contrastado y en Alemania Federal es obligatorio en el tráfico nacional de determinadas categorías de vehículos. En otros países existen igualmente prescripciones para la utilización de registradores de viaje.

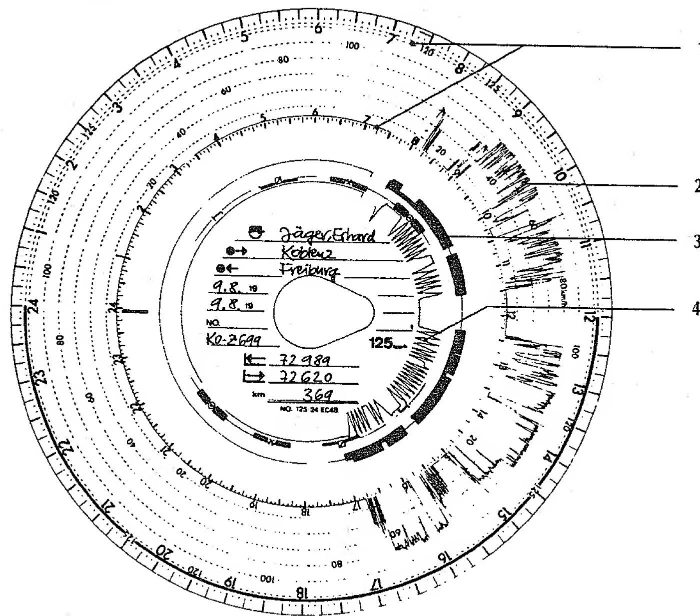
Funcionamiento

Los registradores de viaje que además posean un dispositivo para el registro de los tiempos de trabajo y de reposo (registro de grupos de tiempo), y según el equipo, para uno o dos conductores, se llaman tacógrafos EC y cumplen con todos los requerimientos de la norma CEE 3821/85. Es obligatorio, para determinadas categorías de vehículos, en los países de la Comunidad Europea, y sirve para la vigilancia de los períodos de trabajo y de reposo fijado en la CEE 3820/85. Como ampliación del equipo del tacógrafo EC existe una indicación de buen funcionamiento de la relojería, así como un diodo de control que le indica al conductor que los discos de diagrama están colocados y que funcionan los registros de los grupos de tiempos.

Algunos tipos de aparatos indican además y registran el número de revoluciones del motor. Por medio de dispositivos adicionales son posibles la regulación o mando de funciones y otros registros. A estos pertenecen los registradores auxiliares de dos etapas (p.ej. para el registro del consumo de combustible), los contactos dependientes de la velocidad o del número de revoluciones para dispositivos de aviso.

Disco de diagrama de un tacógrafo EC

1 Escala de tiempo, 2 Registro de las velocidades, 3 Tiempos de marcha y de parada (registro de grupos de tiempo), 4 Registro de las curvas de recorrido



Los registradores de viaje y los tacógrafos EC pasan por unas estrictas prescripciones de tolerancias, que están reguladas en las normas de calibración, en la StVZO § 57b y en la norma CEE 3821/85. En la misma se prescribe también la comprobación periódica de los aparatos e instalaciones en talleres autorizados.

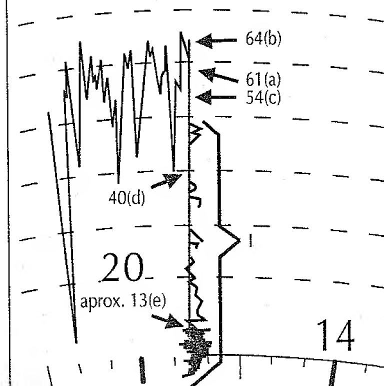
La evaluación de discos de diagrama puede efectuarse visualmente o con el microscopio. La evaluación visual es la más sencilla, porque el disco permite ver y comprobar el transcurso completo de un día con una sola mirada. Una evaluación visual abarca las siguientes comprobaciones: anotaciones manuales, períodos de trabajo, pausas, períodos de descanso, calificación del estilo de conducción, consumo de combustible y números de revoluciones, así como registros defectuosos o manipulados. El procedimiento de evaluación microscópica se efectúa con un microscopio especial, con una exactitud de metros y segundos. Mediante la representación de los datos en diagramas de recorrido/tiempos (ver figura), se puede, p.ej., reconstruir de forma muy exacta el transcurso de un accidente.

En el marco de un sistema de administración de un parque móvil los discos de diagramas también pueden ser evaluados de forma automática o semiautomática.

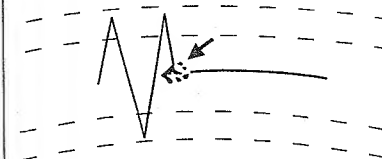
Los aparatos con sistema de medición electrónico se accionan por medio de impulsos generados por un emisor incorporado al vehículo, o dispuesto en la conexión del cambio, que transforma las revoluciones mecánicas del piñón del tacómetro en impulsos electrónicos.

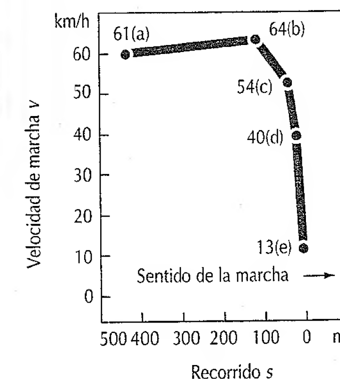
En los registradores de viaje electrónicos o tacógrafos EC de tipo moderno, la compensación a diferente número de impulsos por metro recorrido se realiza ya en el propio aparato. No se precisa de ningún otro elemento compensador aparte. En los vehículos con cambio para el eje trasero, se consigue el acoplamiento a las distintas relaciones de transformación del eje trasero, por un engranaje de cambio que hace variar el accionamiento del aparato en la misma proporción.

Disco diagrama de accidentes con marcha de la velocidad determinada microscópicamente









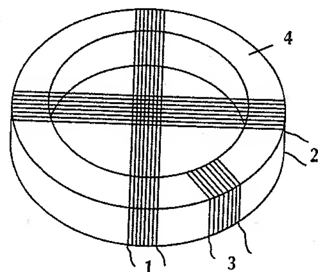
Sistemas de navegación

Los sistemas de navegación cubren su cometido desde las sencillas ayudas de orientación hasta el sistema de guía hacia la meta con cálculo automático de la ruta de viaje. Los componentes básicos de todos los sistemas son:
Un dispositivo de detección de la ubicación, incluyendo sensores para la determinación de la posición correspondiente del vehículo, un dispositivo de introducción de la meta prevista y una unidad de emisión, con la cual se proporcionan al conductor indicaciones para una ruta conveniente para alcanzar la meta. El tipo y el número de los componentes dependen de la complejidad del sistema. Componentes adicionales, como memoria de datos de mapas de carreteras digitalizados, complementan al sistema de forma razonable.

Determinación de la posición

En el sector de los automóviles se utilizan principalmente sistemas de localización por acoplamiento. Los elementos de recorrido se suman (acoplan) según su valor y sentido. Así se acumulan errores de hasta un 2% del trayecto recorrido, de manera que la localización de acoplamiento no es suficiente sin otros elementos adicionales. Los sistemas más sencillos, que de vez en cuando requieren una compensación manual del ajuste de la posición, no se han podido implantar. Los sistemas más convenientes como p.ej. el "TRAVELPILOT", comparan los resultados de la localización con una imagen digitalizada de la red viaria recorrida y efectúan automáticamente las correcciones necesarias (Map Matching). Puesto que para el sistema de localización por satélite HPS se dispone de receptores cada vez más asequibles, se utilizan éstos como sensores adicionales o alternativos.

Núcleo sensor de la sonda del campo magnético terrestre
1 Bobinado sensor (x), 2 Bobinado sensor (y), 3 Bobinado de excitación, 4 Núcleo anular



Sensores

En el sistema de localización por acoplamiento se utilizan sensores de ruedas, sondas del campo magnético terrestre y sensores de fases de giro (giroscopios).

Sensores de ruedas

Los sensores de ruedas detectan las vueltas de las ruedas sobre su eje. Por los impulsos de los sensores se calculan cíclicamente el trayecto recorrido y los cambios de dirección efectuados. Los cambios de dirección resultan de la diferencia de vueltas entre la rueda externa y la interna en una curva. El número de impulsos por vuelta de rueda debe ser suficientemente grande para alcanzar una división suficiente del ángulo. Además los sensores deben detectar también los movimientos del vehículo a velocidades muy reducidas, para evitar una pérdida de orientación durante maniobras de aparcado o recorridos en parada/marcha.

Sondas del campo magnético terrestre

Las sondas del campo magnético terrestre trabajan a menudo según el principio Flux-Gate. Contienen un núcleo anular, en el cual se genera un campo triangular alternante mediante un bobinado de excitación. El campo magnético terrestre se sobrepone a este campo alternante. La medida para los componentes horizontales del campo magnético terrestre son los impulsos de tensión que aparecen en las dos bobinas sensoras colocadas en el núcleo anular perpendiculares entre sí. Antes de la puesta en servicio del sistema de navegación, hay que medir, en un proceso de calibrado, el campo magnético producido por las masas de hierro del vehículo y las corrientes internas de consumidores, de manera que el microprocesador del dispositivo de mando pueda compensarlos en sus cálculos.

Cálculo de las rutas

Los sistemas que ya disponen de datos de carreteras para corregir la localización por acoplamiento, pueden utilizarlos también para el cálculo de una ruta mejor. Para ello los datos tienen que ser ampliados con informaciones adicionales, p.ej. el requerimiento de tiempo de marcha para trayectos individuales, puentes, calles de un solo sentido, limitaciones de paso. También se aumentan las exigencias al procesador del sistema de navegación, para que el conductor pueda recibir a tiempo, antes de un próximo cruce, el cálculo de la ruta para una nueva recomendación, para el caso que no haya seguido la recomendación anterior.

Memoria de mapas de carreteras

La memoria de mapas de carreteras debe tener suficiente capacidad para poder proporcionar todos los datos necesarios del campo de acción de un vehículo. Un cambio del soporte de datos solo debería ser necesario raras veces y realizable fácilmente. Para campos de aplicación pequeños, p.ej. la red viaria de una ciudad grande, se prestan tarjetas de memoria según el estándar PCMCIA (PC-memory-card-interface-adapter). Su ventaja reside en los tiempos reducidos de acceso a los datos por parte de procesador.
Por el contrario un CD-Rom puede contener hasta 600 MB, pudiendo almacenar p.ej. la red de carreteras completa de Alemania, pero tiene tiempos de acceso de hasta dos segundos, debido al movimiento mecánico del cabezal láser.

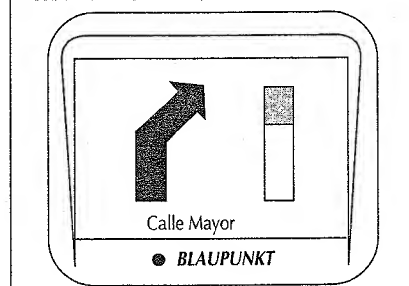
Recomendaciones de la dirección de marcha

Las recomendaciones de dirección de marcha son el resultado de una comparación entre valores prescritos y reales de la posición y de la meta, efectuada por un procesador. Los sistemas sencillos sólo indican la dirección y la distancia en línea recta hasta la meta. El conductor debe interpretar por sí esta información, sin reseña de la red viaria circundante. El "TRAVELPILOT IDS" ofrece más informaciones mediante la presentación de un recuadro del mapa, el cual se desplaza con el movimiento del vehículo, gira según la variación de la dirección y cuya escala el conductor la puede graduar en un amplio margen. Así se facilita mucho la decisión sobre el camino más favorable para llegar a la meta.
Desarrollos ulteriores, como el "TRAVELPILOT RG05" para el autorradio "Berlín" o bien realzan en color la ruta calculada en el mapa, o bien opcionalmente proporcionan al conductor recomendaciones de forma acústica y óptica para alcanzar la meta deseada. La presentación en la pantalla se reduce entonces a la indicación, fácil de ver, del cambio de dirección recomendado en el próximo cruce, y la distancia que queda por recorrer hasta allí. El aviso acústico sólo se efectúa si se recomienda un procedimiento de doblar hacia otra calle. De esta forma la desatención al tráfico es mínima.

Selección de la meta

La introducción de las coordenadas de la meta es bastante complicada y por ello no muy cómoda para el usuario. Sistemas con memorias suficientemente grandes con índices de calles y nombres permiten al conductor introducir direcciones postales. La transformación en los datos requeridos por el sistema para la localización es efectuada por el mismo sistema.
La posibilidad de poder escoger metas relacionadas con el vehículo, como p.ej. gasolineras o talleres, o bien metas turísticas como pueden ser lugares de interés, hoteles y restaurantes, aumentan considerablemente la utilidad de los buenos sistemas .

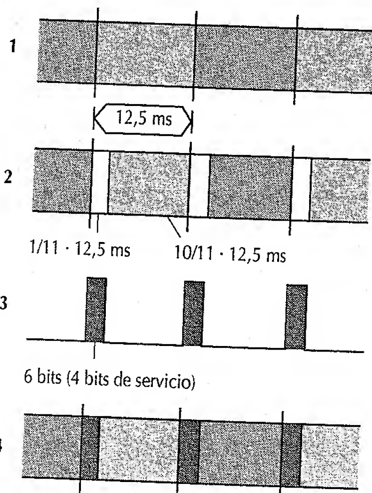
Componente de navegación "TRAVELPILOT RG05"



Telefonía móvil

El sector de la telefonía móvil se divide en las redes de teléfonos móviles (p.ej. redes de telefonía de automóviles) y las redes de telefonía dentro de empresas. Mientras que las redes de teléfonos móviles son accesibles a todo el mundo, al igual que las redes de teléfonos alámbricos, las de telefonía de empresas sólo son accesibles a un número reducido de usuarios. Las redes de telefonía móvil constan de aparatos de telefonía (estaciones móviles) y de la infraestructura (mando del sistema y estaciones de transmisión fijas, estaciones base). Los estudios para la ocupación económica de las frecuencias de transmisión han llevado a las redes celulares, de manera que las mismas frecuencias puedan volver a utilizarse a distancias celulares mayores. El número de las estaciones fijas de transmisión se rige por el número de usuarios y/o el tamaño de la región a cubrir. En las estaciones móviles se diferencia entre aparatos de radio de automóviles, portátiles y de bolsillo.

Regulación de conexión en la red C
1 *Conversación,* **2** *Habla comprimido,* **3** *Telegrama digital,* **4** *Habla comprimido + telegrama digital*



Redes de telefonía

En las redes de telefonía se establecen las comunicaciones siempre a través de las estaciones fijas de transmisión y no entre aparatos móviles, y son así posibles también con los alámbricos de la telefonía convencional. En Europa actualmente están en servicio ocho sistemas analógicos diferentes y un sistema digital (red D: GSM).

Red C

Esta red de telefonía móvil trabaja en Alemania en la frecuencia de 450 MHz.

La transmisión del habla se efectúa mediante una modulación analógica. La regulación de la comunicación se desarrolla mediante telegramas digitales a través de canales de radio especiales (canales de organización). Una conexión existente en los canales para el habla siempre es supervisada por la regulación del sistema. Para ello se incorporan telegramas digitales en la conversación. La conversación se subdivide en bloques de 12,5 ms. Estos son comprimidos, antes de su transmisión, a un valor temporal de 10/11 x 12,5 ms. En los huecos de 1/11 x 12,5 ms se intercalan los telegramas digitales. La señal transmitida es separada de forma inversa, expandiéndose la conversación otra vez al valor de 12,5 ms.

Red D

El sistema digital celular de telefonía móvil GSM (Groupe Speciale Mobile), utilizado en toda Europa en la frecuencia de 900 MHz, debe vencer la incompatibilidad entre las redes europeas analógicas. En Alemania están en servicio una red D de la Deutsche Telekom (D–1) y la Mannesmann Mobilfunk (D–2). A diferencia de la red de telefonía analógica, en la red D la conversación se transmite de forma digital. Se transmiten ocho canales de voz de 16 bits/s o bien 16 canales de voz de 8 bits/s cada uno dentro de un canal de alta frecuencia con un ancho de banda de 200 kHz. El acceso al canal de voz, dentro del canal de alta frecuencia, se efectúa por el procedimiento de tiempo múltiple (TDMA: time division multiplex access).

Red de telefonía dentro de empresas

Estas son redes diseñadas especialmente para las necesidades de empresas de diferentes grupos de personas. La característica principal es la buena cobertura dentro de la zona de transmisión, de manera que se asegura la buena recepción por las estaciones móviles. La duración típica del establecimiento de comunicación es de 1 s. En modos especiales de funcionamiento ("canal abierto") no se requiere de tiempo de conexión.

Los más importantes grupos de usuarios son:

- empresas de suministro de energía,
- empresas de transporte público,
- autoridades y organizaciones con misiones de seguridad,
- usuarios de frecuencias compartidas,
- empresas de taxis y vehículos de alquiler.

Para la regulación de las conexiones se utilizan diferentes procedimientos de señalización digital o analógica. Las redes de llamada selectiva permiten alcanzar a usuarios individuales. Los procedimientos más importantes de señalización son el procedimiento de llamada de secuencia de cinco tonos y el de llamada digital. Los cinco tonos de la secuencia contienen la dirección del aparato del usuario al que se llama. Cada posición contiene, correspondiendo a la dirección, una cifra entre 0 y 9. La duración de la transmisión de cada cifra es de 70 ms.

Después de la recepción y la evaluación de la secuencia de cinco tonos, el aparato buscado transmite una secuencia de cinco tonos como recibo y produce un tono de llamada como señal de atención. De esta forma se ha establecido la comunicación.

Los sistemas de telefonía de llamada digital son un desarrollo ulterior de los sistemas de secuencias de tonos. Las informaciones en los avisos de llamada y de recibo son codificadas en forma binaria. Los dos bits "0" y "1" son adjudicados a las frecuencias de 1800 y 1200 Hz. A diferencia del procedimiento de secuencias de tonos, en un aviso digital pueden transmitirse, además de la dirección del usuario, otras informaciones de estado.

Redes de telefonía por haces de canales

La creciente escasez de frecuencias disponibles para redes de telefonía de empresas en Alemania debe ser obviada mediante redes de haces de canales de la Deutsche Telekom en frecuencias de 400 MHz. Mediante el uso compartido y la administración de varios canales de transmisión, se obtiene una ganancia de concentración de canales. Así se pueden integrar más usuarios por canal, en las mismas condiciones que en las redes convencionales de comunicaciones. Además de la buena accesibilidad de los usuarios dentro de una red de canales concentrados y la exclusividad de las conexiones, hay que citar la posibilidad de acceso de las estaciones móviles a la red pública de telefonía alámbrica.

La regulación de conexión se efectúa mediante un canal de transmisión especial del haz de canales (Canal de organización) según la especificación MPT1327 (MPT, Ministry of Post and Telecommunication). Dentro de ranuras de tiempo (slots) la regulación del sistema transmite periódicamente a las estaciones móviles mensajes de solicitud de estado. Cuando una estación móvil desea comunicarse con otra, entonces responde a la solicitud de estado con su propio mensaje solicitando la comunicación. A continuación el administrador del sistema envía mensajes a las estaciones móviles implicadas para que cambien el canal según las frecuencias de comunicación asignadas. Además de la comunicación hablada, son posibles también servicios de transmisión de datos como avisos de retenciones (información de 5 bits) y avisos cortos de datos (información de servicio de 186 bits) a través del canal de organización.

Procedimiento de señalización por secuencia de 5 tonos

1	2	3	4	5	Secuencia de tonos
3	1	9	2	4	Cifra (dirección del aparato)
f3	f1	f9	f2	f4	Frecuencia

Terminal de información de a bordo (BIT)

Adicionalmente a los elementos de indicaciones y de mando para las funciones más bien referidas al vehículo, cada vez se introducen más los sistemas de comunicación en los vehículos. Un autorradio ya es casi equipamiento estándar y le siguen el teléfono móvil, las ayudas de navegación, etc. Adjudicar a cada sistema nuevo una indicación y manejo propios, con posiblemente filosofías de manejo distintas, representa una carga adicional para el conductor y ya no cumple futuras exigencias de seguridad en el tráfico.

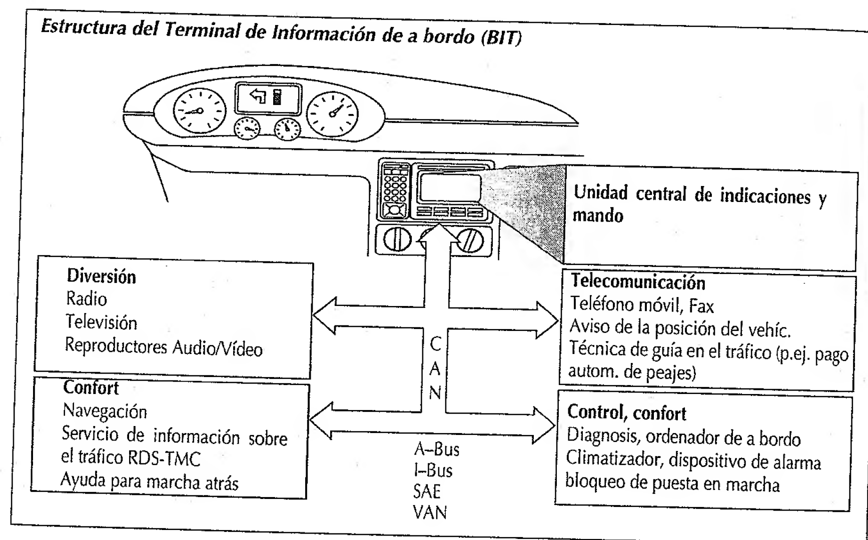
La solución está en la agrupación de las indicaciones y del manejo de varios sistemas parciales en un sola unidad central de indicación y de manejo. Este terminal de información de a bordo (BIT) intercambia de forma bidireccional avisos, a través de un sistema de bus, con los componentes conectados para el mando y la presentación de informaciones correspondientes en la indicación.

El BIT permite una "pantalla uniforme para el usuario" para diferentes aplicaciones distintas. Los elementos de introducción y entrega de informaciones, reducidos claramente en su número, pueden colocarse más fácilmente según aspectos ergonómicos. El manejo de funciones primarias del BIT se efectúa ventajosamente mediante elementos de introducción manejables "a ciegas", los cuales se localizan mediante el tacto y están ubicados en el espacio primario de alcance del conductor. Introducciones de datos más voluminosas, como p.ej. la introducción de una lista abreviada de destinatarios de llamadas, por razones de seguridad sólo pueden efectuarse con el vehículo parado. En un futuro también será posible la introducción verbal de datos.

La indicación centralizada, ubicada de forma ergonómica óptima, sirve para la presentación de los más diferentes contenidos de imagen, como p.ej. símbolos, textos, mapas de carreteras. Informaciones importantes para el conductor, como p.ej. el nombre de la emisora recibida o la flecha de dirección como indicación de navegación, pueden ser representadas ventajosamente en la unidad de indicación centralizada de un instrumento combinado. Como ayuda se ofrece la emisión de textos hablados.

A pesar de las aplicaciones adicionales, se puede configurar de forma comprensible y clara a los instrumentos del vehículo, lo cual también va a favor de la seguridad en el tráfico.

Estructura del Terminal de Información de a bordo (BIT)



Sistemas de seguridad

Sistemas de seguridad para los pasajeros

Los sistemas de seguridad para los pasajeros, en el caso de colisión de vehículos o volcamientos desarrollan su efecto protector sin intervención de los ocupantes. Por ello, los tensores de cinturón, airbags y sistemas protectores en vueltas de campana, se denominan también "sistemas de protección pasiva".

Sistema de tensor del cinturón

En una colisión frontal a 50 km/h, los cinturones de seguridad deben absorber una energía equivalente a la energía cinética de la caída libre de una persona desde una cuarta planta.

Debido a la holgura de los cinturones, el efecto de rollo de película y el estiraje del cinturón, en colisiones frontales a una velocidad de 40 km/h y superiores contra obstáculos fijos, los cinturones automáticos de tres puntos sólo tienen un efecto limitado de protección. Mediante enrollado de la cinta del cinturón (es decir, tensado del cinturón), el sistema tensor elimina la holgura y el efecto de rollo de película, mejorando así de forma importante el efecto protector de los cinturones automáticos.

Aparte de los llamados "tensores de hombro" también existen los "tensores de hebilla". En éstos últimos la heblla del cinturón es tirada hacia atrás, tensándose simultáneamente el cinturón abdominal y el del hombro. El efecto de retención contra "submarining" (deslizamiento por debajo del cinturón) ha podido ser mejorado ulteriormente mediante los tensores de hebilla.

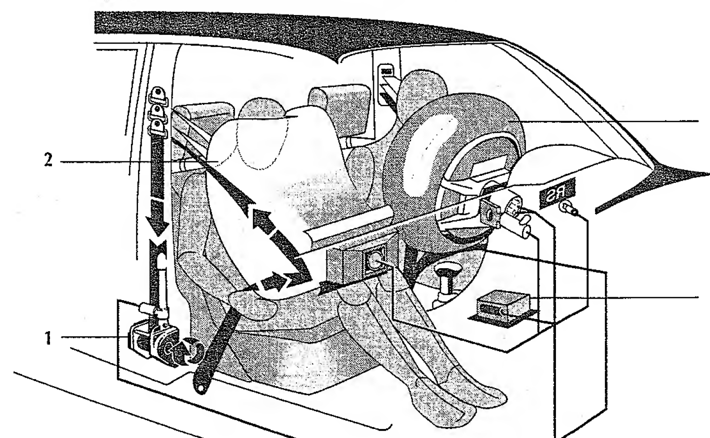
Un efecto protector óptimo exige que los pasajeros puedan participar en la desaceleración del vehículo, desplazándose lo menos posible hacia delante y saliendo lo menos posible de sus asientos. De ello se encarga un accionamiento del tensor del cinturón al comienzo de la colisión, asegurando la retención lo antes posible de los pasajeros. El desplazamiento hacia delante debería ser como máx. 1 cm con los cinturones tensados, y la duración del tensado mecánico de 5 ms (hasta un máximo de 12 ms).

Sistema de airbags frontales

<u>Función de retención y mecanismo del funcionamiento</u>

En una colisión de un vehículo un generador pirotécnico de gas infla un cojín de aire (airbag) con una "explosión", de manera que está completamente inflado antes que el pasajero lo toque. Al alcanzar el

Sistema de retención de pasajeros
1 *Tensor de cinturón,* 2 *Airbag de copiloto,* 3 *Airbag del conductor,* 4 *Sensor y reserva de energía*



pasajero al cojín, éste es parcialmente desinflado, absorbiendo de forma "suave" la energía de colisión de la persona a ser protegida con valores aceptables de presiones superficiales y de desaceleración. Así son evitadas , o al menos claramente atenuadas, las lesiones en la cabeza y en el tórax.

Al conductor y al copiloto les protege a cada uno un airbag contra lesiones en la cabeza y el tórax en una colisión contra un obstáculo duro (= 60 km/h). Ni siquiera el tensor del cinturón puede evitar un golpe de la cabeza en el volante en una colisión fuerte.

Los airbags también protegen a los pasajeros que no lleven el cinturón puesto, por lo que son muy ventajosos en países sin obligación de llevar puesto el cinturón. En EE.UU., desde 1989, son obligatorios por ley los sistemas de retención pasiva, en forma de airbags del conductor y cinturones de seguridad que se colocan solos ("motorized belts"). Allí, para automóviles, están prescritos por ley desde 1993 los airbags para conductor y copiloto según la FMVSS 208 (Federal Motor Vehicle Safety Standard).

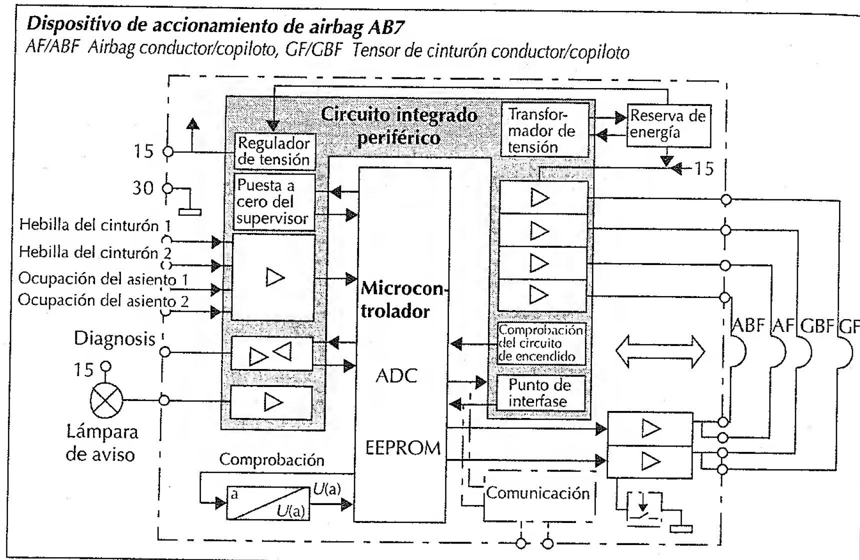
El generador de gas llena con nitrógeno (N_2) al airbag full size del conductor (de 50 a 60 l de volumen), integrado en el cubo del volante, en 30 a 35 ms, y el airbag full size del copiloto (volumen de 100 a 140 l), integrado en el lugar de la guantera, en aprox. 50 ms. Debido a la mayor distancia del copiloto a la guantera, en comparación con la del conductor al volante, es admisible el mayor tiempo de inflado.

Decisivo para la calidad de la función protectora es el accionamiento del airbag en el momento correcto . El pasajero sólo debe alcanzar el airbag cuando éste esté totalmente inflado y a punto de comenzar a desinflarse. El desplazamiento admitido hacia delante del conductor es normalmente de 12,5 cm ("5-inch-rule") y la duración del vaciado de 100 ms. El proceso completo de la colisión y de la absorción de energía, por lo tanto, ya ha pasado después de 150 ms.

Minimización de la colisión (detección de la colisión) y funciones del dispositivo de accionamiento del airbag

Un efecto protector óptimo de los pasajeros en colisiones frontales y oblicuas se consigue mediante un funcionamiento coordinado de los airbags frontales, accionados pirotécnicamente y eléctricamente, y de los tensores de los cinturones. Por ello hoy en día estos dispositivos de protección son accionados de forma coordinada en el tiempo desde una unidad central accionadora (ver esquema de bloques de conexiones AB7), montada en el habitáculo. En ella el accionador electrónico mide la desaceleración que se produce en la colisión mediante dos sensores de aceleración piezocerámicos (sensores piezoeléctricos o micromecánicos), y calcula con ello la variación de la velocidad.

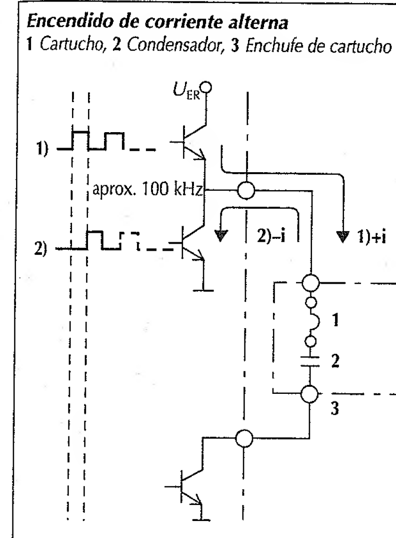
Dispositivo de accionamiento de airbag AB7
AF/ABF Airbag conductor/copiloto, GF/GBF Tensor de cinturón conductor/copiloto



En el dispositivo electrónico central de accionamiento se realizan las siguientes funciones:

- Detección de la colisión mediante un sensor electrónico de aceleración y conmutador mecánico de seguridad ("safing sensor") o bien mediante dos sensores electrónicos de aceleración sin conmutador mecánico de seguridad (detección redundante plenamente electrónica, "all electronic sensing"),
- accionamiento correcto en el tiempo de los circuitos de encendido de los tensores de cinturón y de los airbag en diferentes tipos de colisiones (p.ej en colisiones frontales, desplazadas, oblicuas o contra pilotes), mediante algoritmos digitales especiales correspondientes ("single point sensing algorithms"), es decir, en el habitáculo se detecta y evalúa en un lugar centralizado la aceleración en sentido longitudinal y también transversal,
- Transformador de tensión y reserva de energía,
- accionamiento selectivo de los tensores de cinturón, en dependencia de la detección de las hebillas de cinturón,
- ajuste de dos límites de accionamiento, según si el pasajero lleva puesto el cinturón o no (límite alto o bajo),
- programación de los parámetros de accionamiento ("crashparameters") al final de la banda de montaje, según sean los distintos comportamientos de absorción de energía de los diferentes vehículos,
- diagnosis de las funciones internas y externas del dispositivo o de los componentes del sistema,
- memorización no volátil de tipo y duración de fallos,
- interfase de diagnosis serial,
- crashrecorder (grabadora de accidentes),
- salidas hacia las lámparas de aviso.

Encendido de corriente alterna
1 Cartucho, 2 Condensador, 3 Enchufe de cartucho



Encendido por corriente alterna ("AC-firing")

Los generadores de gas en los airbag son encendidos eléctricamente mediante el calentamiento de un filamento fusible o bien un tramo de encendido en el módulo de percusión (cartucho). Para evitar encendidos erróneos, debidos a cortocircuitos del cartucho de encendido con la corriente continua de la red de a bordo (fallo en el mazo de cables), se ha introducido un concepto de encendido llamado "encendido de corriente alterna". En el caso de encendido, un condensador que está conectado en serie con el cartucho en la toma de corriente de éste, tiene que cargarse–descargarse. Transferir su carga a aprox. 100 kHz (ver esquema del principio).

El desacoplamiento así obtenido de la corriente continua logra, entre otras ventajas, la seguridad contra cortocircuitos hacia la tensión continua de la red de a bordo así como también contra fallos simples o múltiples estáticos. P.ej. no existe el peligro de accionamiento no deseado, cuando, después de un accidente sin accionamiento del airbag, se tenga que liberar p.ej. el pasajero del vehículo cortando la columna de la dirección con unas tenazas de salvamento.

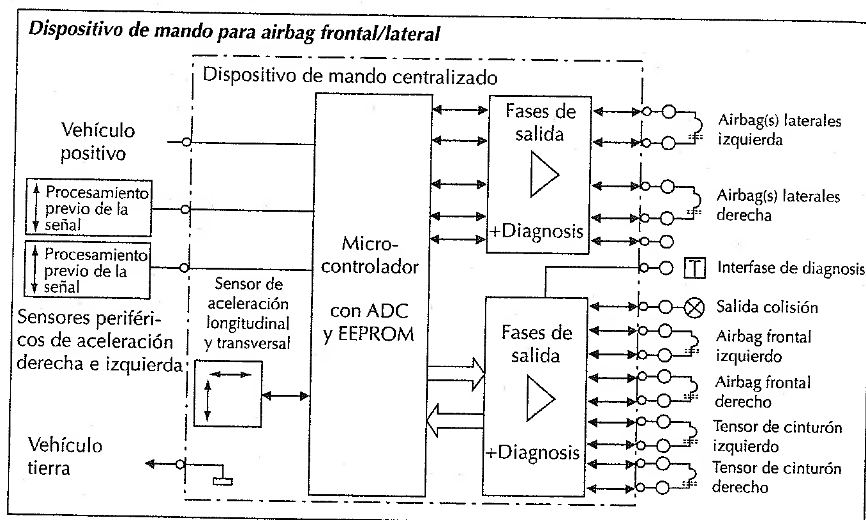
Sistemas de airbag laterales
La protección contra lesiones producidas por colisiones laterales, es especialmente difícil, debido una zona de absorción de energía casi inexistente y a piezas de la carrocería que entran hacia el interior del vehículo. Los airbags laterales, los cuales salen hacia delante para la protección del tórax desde la puerta o del respaldo del asiento, o bien a lo largo del borde del techo para la protección de la cabeza, tienen duraciones de inflado que solamente deben ser de 10 ms para los 12 l del airbag lateral y tiempos de detección de colisión y de accionamiento del airbag, en el caso de colisiones duras, de sólo 3 ms.

Sistemas de detección de colisión y de accionamiento
Un sistema que se equipa en serie (Volvo/Autoliv) trabaja con sensores encendedores de percusión ("percussion cups") en las armaduras de los asientos delanteros, los cuales accionan los airbags laterales a través de cables de encendido ("shock tubes"), para la protección del tórax. Los airbags laterales se despliegan hacia delante desde los apoyabrazos de las puertas. El sistema trabaja puramente de forma pirotécnica. Por ello no posee ninguna autocomprobación y no puede accionar airbags para la protección de la cabeza ubicados fuera de los asientos. Los conceptos futuros de accionamiento trabajan con sensores periféricos de aceleración, montados en los travesaños de los asientos, el montaje central del bastidor o en las vigas de rigidez interiores de las puertas, los cuales procesan las señales in situ y se comunican con el dispositivo de mando central a través de una interfase digital (ver figura dispositivo de mando airbag frontal/lateral). El dispositivo de mando acciona los airbags frontales, los tensores de cinturón y los airbags laterales, después de que un control de plausibilidad mediante el sensor central de aceleración lateral (safing sensor) haya confirmado el hecho de una colisión lateral.

Otros sistemas futuros miden el incremento de la presión, mediante sensores de presión ubicados en el compartimiento interior de las puertas, durante la deformación de la puerta y transmiten sus valores de medición al dispositivo central mediante una interfase PWM (concepto Siemens).

Mientras los airbags laterales sigan siendo equipamiento opcional, algunos fabricantes prefieren dispositivos de detección de colisión lateral del tipo "stand-alone". Allí en cada lado un dispositivo periférico acciona independientemente a los airbags de su lado, es decir, estos dispositivos poseen fases terminales propias y las conexiones de diagnosis del circuito de encendido, basándose su actuación en la detección de los valores de aceleración.

Dispositivo de mando para airbag frontal/lateral



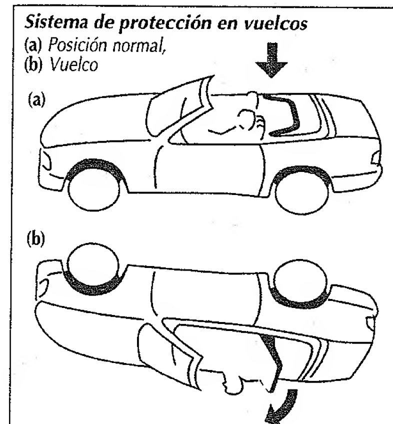
Sistema de protección en vuelcos

Este sistema se utiliza en coches descapotables ("cabriolets") con arco desplegable protector en vuelcos o con apoyacabezas posteriores desplegables. En el caso de vuelco, un dispositivo de accionamiento electrónico (sensor de vuelcos) hace salir, con la "velocidad de un rayo", los dispositivos de protección desbloqueando un muelle mediante un fuerte electroimán. Puesto que un vuelco puede suceder en cualquier dirección de la horizontal, el sensor de vuelco debe reaccionar en cualquier dirección.

Accionamiento de la protección en vuelcos
El sensor de vuelcos reconoce el vuelco del vehículo por la aceleración y la inclinación del vehículo y la extensión de los muelles de la suspensión posterior o la pérdida de contacto del vehículo con el suelo.
La aceleración es detectada en cualquier dirección mediante un sensor longitudinal y otro transversal. Un microprocesador eleva las señales al cuadrado y las suma, comparando luego la aceleración resultante con el límite programado de la aceleración de accionamiento de 5 *g*.

Como segundo criterio de accionamiento, un conmutador de inclinación evalúa la inclinación del vehículo. En cuanto la inclinación llega a 27°, o los supera, y al menos uno de los dos interruptores del eje posterior abre la señal para una rueda con la suspensión extendida, entonces también se efectúa el accionamiento del arco protector. El microprocesador y un conducto analógico de hardware evalúan de forma redundante la segunda condición de accionamiento para aumentar la seguridad de funcionamiento.

Sistema de protección en vuelcos
(a) Posición normal,
(b) Vuelco



Ulteriores funciones
Además de las funciones de accionamiento, el sensor de vuelcos efectúa una autocomprobación, la cual comprueba los actores externos, los interruptores del eje posterior, la tensión de la red de a bordo y la lámpara de aviso. Posee una memoria no volátil de fallos, un reloj de fallos y una interfase serial de diagnosis. En el caso de accionarse se abre el cierre centralizado. Otros conceptos de detección de vuelcos (BMW/Temic) utilizan sensores de nivelación, inclinados en dirección contraria del eje (principio del nivel de burbuja de aire), para la determinación del ángulo (ángulo de tambaleo ≥ 52°, ángulo de cabeceo ≥ 72°) o bien un sensor de gravitación, el cual cierra un contacto tipo Reed, en caso de pérdida de contacto con el suelo, para la detección del vuelco.

Previsiones
Con el grado creciente de equipamiento de los vehículos con airbags (estándar en Europa hasta el cambio de siglo) aún seguirán aumentando la calidad de la tecnología de los sensores y de los mecanismos de accionamiento:
- "smart bag" (adaptación de la velocidad de accionamiento y de inflado del airbag a la posición del pasajero, el tipo de accidente, la utilización del cinturón de seguridad, la temperatura, etc.),
- integración de la detección de las colisiones frontales y laterales y de los vuelcos en un solo dispositivo central combinado, el cual activa todas las instalaciones de seguridad, reconoce el uso de los asientos de copiloto y de niños, y averigua posiciones atípicas del vehículo,
- conexión a la red del dispositivo multifuncional con los dispositivos electrónicos del tren de propulsión, a través de un bus (p.ej. para desconectar la bomba de alimentación de combustible después de una colisión) y
- conexión a la red con el ABS/ASR y los sistemas de presentación de información de a bordo para una información inequívoca del conductor sobre el tipo y la ubicación del fallo.

Sistemas de comodidad

Accionamientos de alzacristales

Para el accionamiento por fuerzas externas de las ventanas de los turismos y de los vehículos industriales, se utilizan principalmente instalaciones con motores eléctricos. Para ello, toda la gama existente viene cubierta en casi el 90% por tres sistemas diferentes. La selección de cada sistema particular depende mucho, entre otros criterios, del espacio disponible para su montaje.

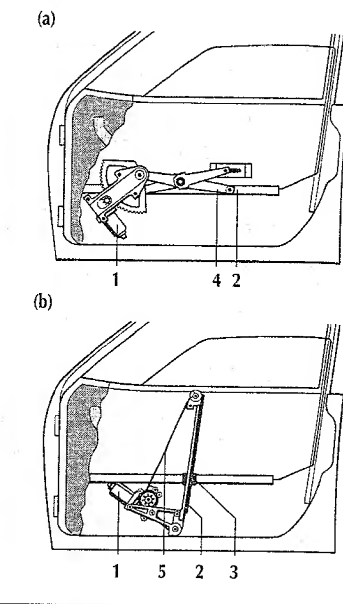
Sistema 1 (muy extendido):
El motor eléctrico acciona un sector dentado por medio de una rueda dentada recta unida a un varillaje.

Sistema 2:
El motor mueve un cable de tracción.

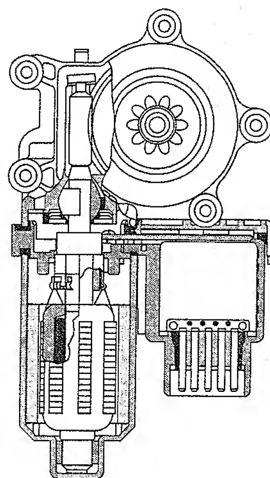
Motores alzacristales
Las condiciones de espacio existentes en las puertas obligan a un sistema constructivo plano (motores planos). El reductor es del tipo tornillo sin fin irreversible que debe asegurarse contra la abertura involuntaria o a base de fuerza. Un acoplamiento de garras cuida de que el comportamiento sea amortiguado en servicio.

Regulación del alzacristales
El accionamiento manual se efectúa mediante un interruptor basculante. Para mayor comodidad se recomienda el acoplamiento de los alzacristales a un cierre centralizado o descentralizado. Opcionalmente pueden cerrarse los cristales de forma automática cuando se abandona el vehículo o bien ser alzados a una posición de ventilación. Al cerrar está prevista una limitación de fuerzas, también llamada limitador de exceso de fuerzas. Con ella debe ser impedido el aprisionamiento de partes del cuerpo. Según la StVZO § 30 en el movimiento ascendente del cristal la protección contra aprisionamiento debe ser activa desde 200 hasta 4 mm (medidos desde la parte superior de la abertura de ventana).
Sensores Hall, integrados en el accionamiento alzacristales, controlan el número de revoluciones durante el servicio. Si se

Accionamientos de alzacristales
(a) Sistema 1 con mecanismo articulado,
(b) Sistema 2 con cable de tracción
1 Motor de engranaje eléctrico, 2 Riel de guía, 3 Pieza de arrastre, 4 Mecanismo articulado, 5 Cable de tracción



Motor alzacristales con electrónica integrada (Limitación de exceso de fuerza)



reconoce una reducción del número de revoluciones, entonces inmediatamente se invierte el sentido de giro del motor. La fuerza de aprisionamiento no debe exceder a 100 N con una relación de muelle de 10 N/mm. Sin embargo, para poder cerrar la ventana con cada movimiento ascendente, se desconecta la protección contra aprisionamiento cuando el cristal entra en la junta de la puerta, accionándose el motor hasta su bloqueo. Así se produce la inicialización de la posición de alzacristales.
El mando electrónico puede ser reunido en un dispositivo central de mando o bien, para minimizar la necesidad de cableados, estar integrado en el motor del alzacristales de forma descentralizada. Estos posicionadores se ofrecen, entre otros, para su utilización en sistemas múltiples.

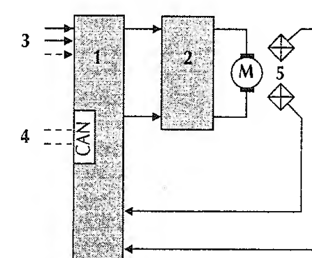
Accionamientos de techos

Los accionamientos mecánicos modernos de techos, combinan las funciones de elevación y corrimiento. Para ello se necesitan mandos especiales, que pueden ser eléctricos o electromecánicos. En el mando electromecánico (véase figura) un enclavado mecánico de los finales de carrera a y b cuida de que el techo pueda abrirse o elevarse desde la posición de cerrado, según la polaridad de los bornes I y II. Un cambio de polaridad del techo abierto o elevado conduce en cada caso al proceso de cierre o de bajada del techo. Si el techo debe ser conectado a una instalación centralizada de cierre, es ventajosa la regulación electrónica con limitador de fuerzas integrado. El mando electrónico está equipado con un microprocesador que evalúa las entradas de señales y controla la posición del techo corredizo. La posición de puesta a cero y la final son controladas mediante microinterruptores. Con bastante poco coste pueden realizarse funciones adicionales como por ejemplo

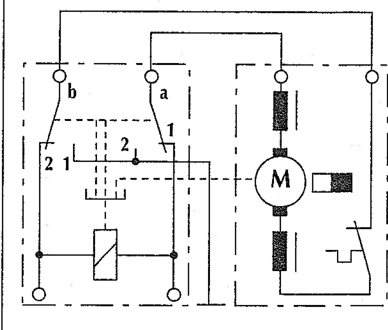
- mando de posición predeterminable,
- cierre mediante un sensor de lluvia,
- mando del número de revoluciones y
- protección electrónica del motor.

El accionamiento del techo se realiza a través del cable de tracción o por medio del cable de servicio rígido tanto en la tracción como en la compresión. El motor de accionamiento está incorporado directamente en el techo o en la zona de detrás del vehículo (por ejemplo, en el maletero). Como motores de accionamiento se utilizan motores con reductor de tornillo sin fin, excitados por imán permanente, con una potencia de salida de aproximadamente 40 W. Los motores van protegidos contra sobrecargas térmicas por un contactor de protección térmica.
Por si falla la instalación eléctrica, debe estar garantizado el cierre con las herramientas sencillas que se llevan en el coche.

Mando de alzacristales con limitación electrónica de la fuerza
1 Microprocesador, 2 Etapa final del relé, 3 Mandos de posicionado, 4 Bus múltiplex, 5 Sensores Hall



Esquema de circuito de un acccionamiento de techo corredizo con regulación electromecánica de las funciones de abertura, cierre, elevación y descenso



Regulación del asiento y del volante

La regulación eléctrica del asiento todavía se monta sólo en los vehículos de las clases media y alta. El equipamiento se realiza bajo el aspecto principal de la mayor comodidad, pero también por requerimiento de espacio o el acceso dificultoso a una regulación mecánica. Hasta siete motores eléctricos ejecutan las siguientes funciones:

- Ajuste en altura de la superficie del asiento delante/detrás.
- Ajuste en profundidad del cojín de asiento.
- Ajuste longitudinal del asiento.
- Ajuste de la inclinación del respaldo.
- Ajuste en altura del apoyacabezas.
- Ajuste del apoyo lumbar (altura/curvatura)
- Ajuste del curvado del respaldo (tercio superior del respaldo)
- Ajuste de altura apoyacabezas.

Una estructura usual de asiento posee cuatro motores, los cuales accionan un reductor de regulación de altura y otro de regulación longitudinal/de altura. En asientos sencillos falta la unidad para regular la profundidad del cojín del asiento. Otro sistema consta de tres motores iguales con reducción, con cuatro reductores para altura y dos para longitud. Los reductores son accionados por los motores reductores a través de árboles flexibles. Este sistema es muy universal y no específico de ninguna construcción especial de asiento.

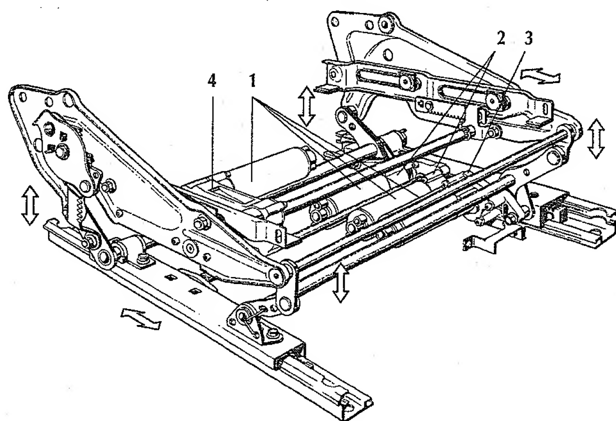
En concepciones modernas de asientos (especialmente en coches deportivos), no solamente el cinturón de seguridad abdominal, sino también el del hombro, incluyendo la regulación de altura, el dispositivo de enrollado y el dispositivo de tensado previo están integrados en el asiento. Esta estructura de asiento garantiza una ubicación óptima del cinturón, para todos los tamaños de pasajeros, así como también para todas las posiciones ajustables del asiento, siendo un aporte importante para la seguridad de los pasajeros. Este concepto exige un aumento de la rigidez de la estructura del asiento y un refuerzo de los componentes de los reductores, incluyendo la unión con la estructura del asiento.

Una ampliación es el ajuste del asiento eléctrico programable. Posibilita la repetición de diversas posiciones programadas previamente. La señal de posición del asiento se efectúa mediante un sensor de Hall o potenciómetros. Como ayuda de entrada hacia los asientos traseros en los vehículos de dos puertas, puede moverse el asiento completamente hacia delante.

Para un ulterior incremento de la comodidad, los automóviles llevan cada vez más la regulación eléctrica de la altura de la columna de dirección. El dispositivo de ajuste está integrado en la columna de dirección, y consta de un reductor autobloqueante con un motor por cada nivel de ajuste. El reductor de ajuste de longitud debe absorber la totalidad de las fuerzas en un accidente que actúen sobre la columna de dirección. El ajuste se realiza opcionalmente mediante accionamiento manual de un conmutador de posición o a través del acoplamiento de la regulación programable del asiento. Como ayuda para la salida o entrada al vehículo, a encendido desconectado, puede levantarse la columna del volante.

Regulación electromecánica del asiento *(Fuente: componentes de automóvil Brose)*

1 Motores eléctricos, 2 Reductor de ajuste longitudinal/altura, 3 Reductor de ajuste de altura, 4 Reductor para ajuste de la profundidad del cojín



Cierre centralizado

El cierre centralizado de las puertas del vehículo, del maletero y de la tapa del tapón de llenado del depósito de combustible se realiza mediante actuadores neumáticos o electromotrices.

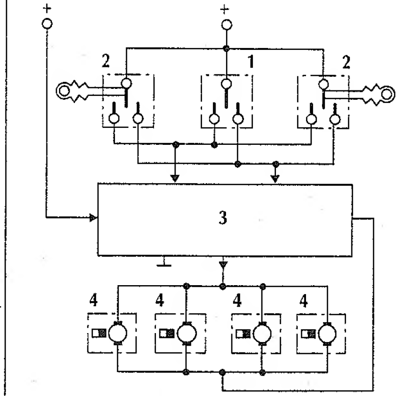
En el sistema neumático una bomba de doble presión (sobrepresión o depresión) se encarga de proporcionar la presión necesaria del sistema, actuando en ambos sentidos de giro mediante el accionamiento de un motor eléctrico. La instalación se puede conectar mediante un interruptor central de posición en el habitáculo del vehículo y por la cerradura del conductor. Opcionalmente es posible un accionamiento desde diferentes puntos (desde la puerta del conductor, del copiloto, del maletero).

Más difundido que el cierre centralizado neumático es el cierre centralizado electromotriz. Según la amplitud de funcionamiento y los tipos de cerraduras, existen varias soluciones, las cuales sin embargo se basan todas en el mismo principio técnico: un pequeño motor eléctrico acciona una palanca de ajuste que cierra o abre la cerradura. Es necesario que la cerradura siempre pueda abrirse, en caso de fallo del suministro eléctrico, mediante la manecilla interior de la puerta o mediante la llave mecánica. En cierres centralizados con protección antirrobo el accionamiento manual desde la posición de "posición antirrobo" sólo es posible mediante la llave del vehículo.

Para más comodidad existen cierres centralizados con mando a distancia de infrarrojos o ultrasonidos que permiten cerrar o abrir el vehículo desde lejos.

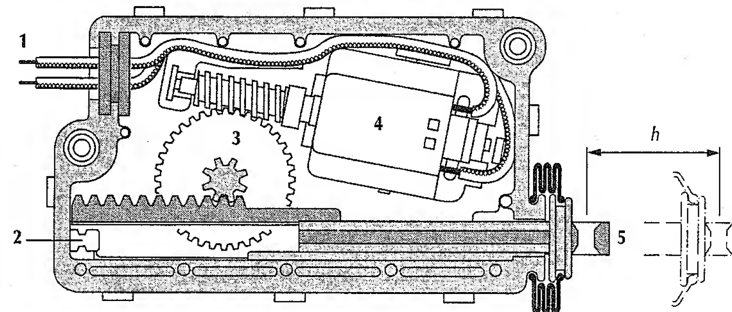
Cierre centralizado electromotriz

1 Interruptor central, 2 Contactos en las cerraduras de las puertas, 3 Unidad de mando, 4 Motores posicionadores



Unidad posicionadora para cierre centralizado

1 Conexión de cables, 2 Embrague elástico de posición final, 3 Engranaje, 4 Motor eléctrico, 5 Palanca de ajuste, h Carrera



Hidráulica del vehículo

Magnitudes y unidades[1]

Magnitudes		Unidades
A	Área de la sección de paso	cm^2
A_D	Área sección estrangulada	cm^2
A_K	Área del pistón	cm^2
A_R	Área de la sección del tubo	cm^2
b	Anchura de la ranura	mm
d	Diámetro del tubo	mm, cm
E_{Fl}	Módulo elasticidad líquido	$N \cdot mm^{-2}$
$E_{Öl}$	Módulo compresión aceite	$N \cdot mm^{-2}$
e	Excentr., desplaz. centro	mm
F	Fuerza	N
g	Aceleración de la gravedad	$m \cdot s^{-2}$
H	Carrera del cilindro	cm, mm
h	Altura de la ranura	µm, mm
l	Long. ranura, long. tubo	mm, m
l_0	Longitud inicial	cm
M_1	Par de giro, impulsor	$N \cdot m$
M_2	Par de giro impulsado	$N \cdot m$
M_{th}	Par de giro teórico impulsor-impulsado	$N \cdot m$
M_{verl}	Momento de pérdidas	$N \cdot m$
n	Número de revoluciones	min^{-1}
P_{an}	Potencia impulsora	kW
P_{ab}	Potencia impulsada	kW
p_z	Presión del cilindro	bar
Δp	Diferencia de presión	bar
Q	Caudal de alimentación de la bomba hidráulica o caudal de paso del motor hidráulico o del cilindro hidráulico	$l \cdot min^{-1}$
Q_1	Caudal suministrado	$l \cdot min^{-1}$
Q_2	Caudal de paso	$l \cdot min^{-1}$
Q_L	Caudal de las fugas	$l \cdot min^{-1}$
Q_{th}	Caudal teórico suministrado o de paso	$l \cdot min^{-1}$
Re	Número de Reynolds	–
r	Radio del tubo	mm
t	Tiempo carrera cil. hidrául.	s
U	Circunferencia de la sección de paso	cm
V_{Fl}	Volumen de líquido	cm^3
V_H	Volumen de cilindrada del cilindro hidráulico	cm^3
V_0	Volumen inicial	cm^3
V_{th}	Vol. teór. sumin. o paso	cm^3
v	Velocidad de paso por el tubo	$m \cdot s^{-1}$
v_1	Velocidad de la carrera	$m \cdot s^{-1}$
α_D	Coef. paso de, por ej., estrangulam., diafragmas	–
η	Viscosidad dinámica	$Ns \cdot m^{-2}$
η_{hm}	Rendimiento hidráulico-mecánico	–
η_{vol}	Rendimiento volumétrico	–
λ	Coeficiente de resistencia	–
ν	Viscosidad cinemática	$m^2 \cdot s^{-1}$
ρ	Densidad	$kg \cdot dm^{-3}$
ω	Velocidad angular	s^{-1}

[1] Éstas son unidades de uso común, no unidades SI.

Cálculo del coeficiente de pérdida de carga λ

$\lambda = \frac{64}{Re}$ para corriente laminar y cambios de estado isotémicos

$\lambda = \frac{75}{Re}$ para corriente laminar y cambios de estado adiabáticos

$\lambda = \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}}$ para corriente turbulenta hasta $Re = 80000$ y tubos lisos

$Re = v \cdot D_H/\nu$ donde $D_H = A/U$

Conceptos y fórmulas
(Ecuaciones generales)

Bombas hidráulicas

Caudal enviado

$$Q_1 = V_{th} \cdot n \cdot \eta_{vol}$$

Potencia de salida

$$P_{ab} = Q_1 \cdot \Delta p$$

Par motor

$$M_1 = \frac{V_{th} \cdot \Delta p}{2\pi} \cdot \frac{1}{\eta_{hm}}$$

Potencia de accionamiento

$$P_{an} = M_1 \cdot \omega$$

Rendimiento volumétrico

$$\eta_{vol} = \frac{Q_1}{Q_{th}} = \frac{Q_{th} - Q_L}{Q_{th}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_{th}}$$

Rendimiento hidráulico-mecánico

$$\eta_{hm} = \frac{M_{th}}{M_1} = \frac{M_{th}}{M_{th} + M_{verl}}$$

Motor hidráulico

Caudal de paso

$$Q_2 = V_{th} \cdot n \cdot \eta_{vol}$$

Potencia de salida

$$P_{ab} = M_2 \cdot \omega$$

Par de salida

$$M_2 = \frac{V_{th} \cdot \Delta p}{2\pi} \cdot \eta_{hm}$$

Rendimiento volumétrico

$$\eta_{vol} = \frac{Q_{th}}{Q_2} = \frac{Q_{th}}{Q_{th} + Q_L}$$

Rendimiento hidráulico-mecánico

$$\eta_{hm} = \frac{M_2}{M_{th}} = \frac{M_{th} - M_{verl}}{M_{th}}$$

Cilindro hidráulico

Presión en el cilindro $p_z = F/(A_K \cdot \eta_{hm})$

Volumen de cilindrada $V_H = A_K \cdot H$

Tiempo de carrera $t = V_H/Q_1$

Velocidad de carrera $v_1 = Q_1/A_K$

Caudal por tuberías y ranuras

Sección de tubería necesaria

$$A_R = Q_1/v$$

Pérdida de carga en tuberías rectas

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Caudal por un tubo (según Hagen-Poiseuille)

$$Q = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot \Delta p$$

Corriente (laminar) a través de una ranura plana

$$Q = \frac{b \cdot h^3}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot \Delta p$$

Corriente (laminar) a través de una ranura de junta excéntrica

$$Q = \frac{d \cdot \pi \cdot \Delta r^3}{12 \cdot \eta \cdot l} \cdot \left[1 + 1{,}5 \cdot \left(\frac{e}{\Delta r}\right)^2\right] \cdot \Delta p$$

($2 \cdot \Delta r$ = Juego del ajuste entre el pistón y el orificio)

Caudal a través de estrangul. y diafragmas

$$Q = \alpha_D \cdot A_D \cdot \sqrt{2\Delta p/\rho}$$

(α_0 en los distribuidores de mando 0,6 a 0,8)

Compresibilidad de un líquido hidráulico

$$\Delta V_{Fl} = A_K \cdot \Delta l = V_0 \cdot \Delta p / E_{Fl}$$

donde el volumen inicial

$$V_0 = A_K \cdot l_0$$

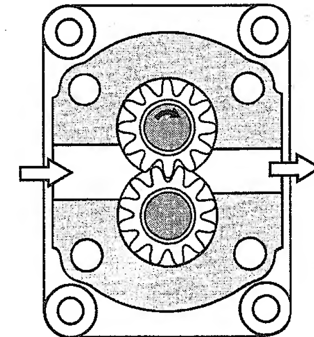
y el módulo de compresión del aceite

$$E_{öl} \approx 1{,}6 \cdot 10^9 \frac{N}{mm^2}$$

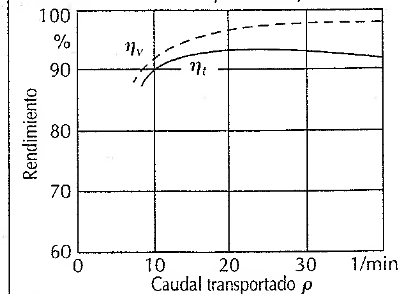
Bombas de engranajes

Las bombas de engranajes se construyen o bien con un dentado por fuera y el otro por dentro, o con dos ruedas dentadas por fuera. Estas últimas son de construcción más barata y, por ello, son las que se instalan mayormente. El volumen transportado por vuelta es constante y viene determinado por el diámetro de las ruedas dentadas, la distancia entre ejes y el ancho de diente. Las ruedas dentadas en rotación (que se encuentran engranadas) transportan el liquido hidráulico entre los huecos de sus dientes, desde el lado de baja presión al de alta y los dientes en contacto con el líquido lo comprimen hacia la tubería de presión. Las cabezas de los dientes que giran casi sin juego alguno dentro del cuerpo, hacen de junta radial de la cámara de presión. Unas chapas o casquillos comprimidos hidráulicamente limitan la cámara axialmente y sirven al mismo tiempo de soporte de las ruedas en las bombas de casquillos. De esa forma se consiguen los buenos rendimientos usuales en las bombas de alta presión. El número de revoluciones en servicio de hasta 4000 min^{-1}, las presiones admisibles de hasta aprox. 250 bar y la elevada densidad de potencia (6 kW/kg) hacen que las bombas de engranajes resulten muy apropiadas para instalarlas en la hidráulica del automóvil. Los caudales de transporte requeridos entre 0,5 y 300 l/min se consiguen con 4 a 5 tamaños de bombas.

Bombas y motores de engranajes *(Sentido de giro y de la circulación de líquido para el funcionamiento como bomba)*



Bombas de casquillos
Rendimiento volumétrico η_v y rendimiento global η_t en función del caudal transportado a Δp = 210 bar



Motores de engranajes

Los motores de engranajes en su forma más sencilla se construyen como las bombas de engranajes para funcionar con sólo un sentido de giro. Según la dirección de la circulación del aceite del lado de alta presión al de baja, varía el sentido de giro de las ruedas dentadas respecto a las bombas. Para el accionamiento de traslación apropiado, es decir, giro en los dos sentidos y que se puedan cargar también en sentido inverso, son asimismo derivados de las bombas de engranajes, mediante el ajuste del campo de presión axial y la conducción del aceite de fuga. Las ventajas de las bombas de dentado exterior, tales como elevada densidad de potencia, pequeño espacio de montaje y bajo coste de fabricación, son también válidas para los motores de ruedas dentadas. Por ello son los preferidos para vehículos de carretera, maquinaria para la construcción y agrícola, para el accionamiento de ventiladores de aire de refrigeración y de barrido, husillos transportadores, escobillas, esparcidores para calzadas, vibradores, etc. El buen comportamiento en el arranque de los motores de engranajes se utiliza para el accionamiento de bombas y compresores así como para transmisiones de tracción.

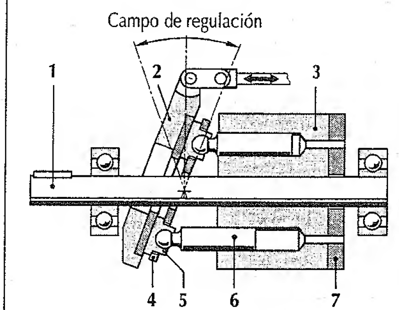
Motores y bombas de pistones

Los motores y las bombas de pistones hidráulicos se diferencian notablemente de la forma de construcción clásica de la máquina de pistones. A causa del elevado nivel de presión (el valor normal de los accionamientos hidrostáticos actuales es aprox. de 350 a 400 bar), hasta los pistones de pequeña superficie precisan ya de mecanismos robustos. A pesar de ello, se construyen los mecanismos de las máquinas modernas muy compactos, especialmente gracias a la transmisión hidráulica de la fuerza entre los principales elementos productores de la carrera. El buen efecto engrasante y refrigerante del liquido favorecen la reducción del espacio. Las máquinas hidráulicas de pistones pueden conseguir así una densidad de potencia máxima de más de 5 kW/kg.

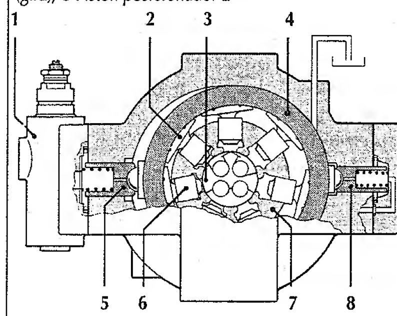
Con el fin de conseguir un caudal constante, se construyen las máquinas hidráulicas de pistones con un número impar de elementos de pistones. Según la disposición del sistema de accionamiento se distingue entre máquinas de pistones radiales y axiales. Existen ambos como bombas y como motores con volumen comprimido constante o variable, apropiados para circuitos abiertos y cerrados. La regulación se realiza por medio de la carrera del pistón, ya que la posibilidad teórica existente de la regulación de fase no se ha impuesto en las máquinas hidráulicas. Los elementos de transmisión del motor de movimiento rotatorio, como cigüeñales y excéntricas (radiales) y los discos oscilantes (axiales) no resultan por ello apropiados y sólo encuentran aplicación en algunas máquinas constantes. En todas las unidades regulables y en muchas unidades constantes se utilizan otras transmisiones específicas para la hidráulica. En estos tipos de construcción el cuerpo del cilindro rota y forma, junto con una placa de regulación fija o un muñón de regulación, un distribuidor rotativo, que comunica alternativamente la cámara del cilindro con la entrada de líquido y luego con la salida. Las máquinas de pistones axiales se construyen o bien con discos oscilantes o con eje oscilante.

Como tipo de construcción radial se ha impuesto la máquina con admisión interna. La estrella de cilindros gira sobre el perno regulador. Las fuerzas radiales son soportadas en el pivote por campos de presión hidrostática. Igualmente campos de presión transmiten las fuerzas entre las guías de deslizamiento, que también giran, de los pistones de trabajo y el anillo de carrera, en reposo. Por medio de la posición excéntrica variable de este anillo con respecto al perno de regulación se produce la carrera del émbolo. En las bombas con sentido de transporte invertible se puede colocar el anillo de carrera en ambos sentidos por medio de los pistones de regulación. La buena accesibilidad a las piezas regulables permite una rápida y exacta variación del caudal comprimido, a mano o a través de posicionadores y reguladores hidráulicos. La máquina de pistones hidráulica regulable es integrada en mandos electrónicos por medio de válvulas proporcionales en el circuito de regulación así como también a través de posicionadores asistidos que actúan de forma proporcional al caudal.

Máquina de pistones axiales
(Unidad de discos oscilantes)
1 Árbol de accionamiento, 2 Disco oscilante, 3 Tambor del cilindro (gira), 4 Placa de retención, 5 Patines de deslizamiento, 6 Pistón, 7 Placa de mando



Máquina de pistones radiales
1 Órgano de mando o regulación, 2 Patines de deslizamiento, 3 Perno de mando, 4 Anillo de carrera, 5 Pistón posicionador 1, 6 Pistón, 7 Estrella de cilindros (gira), 8 Pistón posicionador 2



Bombas electrohidráulicas y pequeños grupos hidráulicos

Las bombas electrohidráulicas son una combinación de bomba hidráulica y motor eléctrico. Para la aplicación predominante en hidráulica móvil se utiliza un motor de corriente continua, pero también los hay de alterna y trifásicos para servicio estacionario.

Se han acreditado como buenas generadoras de presión las bombas de engranajes como bombas electrohidráulicas de poca pulsación y silenciosas. Se utilizan en los tamaños B y F con unos caudales de transporte de 1 a 22,5 cm^3 por vuelta y alcanzan presiones de trabajo de hasta 280 bar. Junto con los motores eléctricos de los tamaños I hasta T, que tienen una potencia máxima de 8 kW, se utilizan en hidráulica móvil para muchas aplicaciones.

Las bombas electrohidráulicas proporcionan la energía hidráulica para las funciones de "elevación" y "dirección" en vehículos de todo tipo, especialmente en vehículos de transporte sobre el suelo (carretillas de horquilla elevadora, carretillas paletizadoras), plataformas de elevación de coches, camiones, vehículos especiales para la construcción, transporte y salvamento, a si como en turismos. Se utilizan las bombas electrohidráulicas y también cada vez más los grupos hidráulicos pequeños para funciones auxiliares tales como el enclavamiento centralizado, regulación de nivel de altura y dirección asistida, y también para los dispositivos de seguridad, tales como la protección antibloqueo en las instalaciones de frenos.

Para conseguir múltiples funciones de mando en los vehículos, además de las bombas hidráulicas hay que instalar también distintas válvulas o bloques de válvulas. Esto ha conducido al desarrollo de grupos hidráulicos pequeños compactos, hasta una gama de potencias de 2 kW. Estos grupos llevan incorporados además del motor eléctrico y la bomba hidráulica, el bloque de mando, el depósito de aceite y los filtros de aceite y de aire. El concepto constructivo permite la realización de funciones individuales de regulación. Se pueden agregar válvulas de corredera o de asiento en un bloque compacto de válvulas o en un punto de acoplamiento. Estas unidades pequeñas o minigrupos se utilizan siempre en situaciones que ofrecen poco espacio y tienen gran requerimiento de energía hidráulica. Ejemplos de ello son los vehículos municipales (máquinas barredoras, quitanieves, pequeños tractores para jardines y parques, así como también los vehículos de transporte sobre el suelo y algunos especiales para el transporte de personas, como ambulancias con elevadores de minusválidos y dispositivos giratorios).

Las nuevas condiciones de utilización son funciones en el automóvil. Los descapotables nuevos modernos llevan sistemas hidráulicos de alto valor para el accionamiento del techo plegable, su enclavamiento, su plegado y su cierre en una hendidura prevista para ello.

Válvulas

Válvulas de distribución

Válvulas OC (open center)

El caudal de la bomba fluye, en posición neutral, a través de hasta 10 válvulas de una instalación (circulación neutral). Al accionarse una válvula, la corriente de aceite es estrangulada, antes que se abra la unión hacia la conexión de consumo.

Desventajas:

- altas pérdidas de presión = pérdidas de energía en posición neutral
- regulación en fino dependiente de la presión de carga

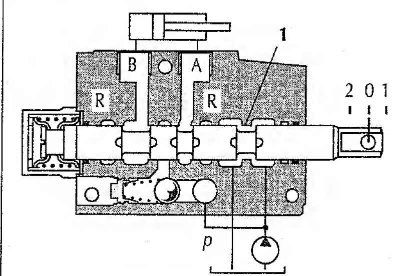
Válvulas LS (load sensing)

Aplicación en sistemas con bomba de regulación o bomba constante con balanza de presión. En la posición neutral la bomba o la balanza de presión descargan por la conducción de regulación LS. En la posición de trabajo el regulador de la bomba o la balanza de presión mantienen constante el desnivel de presiones en la corredera de regulación, es decir, la corriente de aceite hacia el consumidor es independiente de la presión de carga.

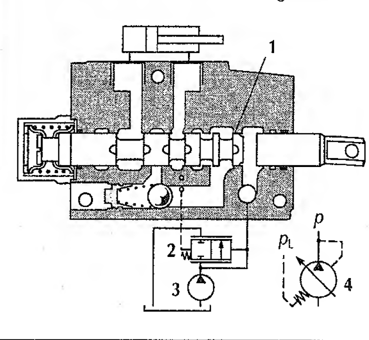
Ventajas:

- pérdida reducida en posición neutral
- regulación en fino mejorada e independiente de la presión de carga

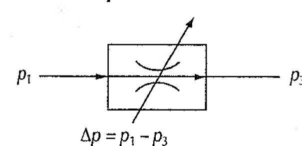
Válvula de distribución OC
1 Circulación neutral

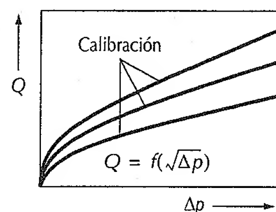


Válvula de distribución LS
1 Diafragma de medición, 2 Balanza de presión, 3 Bomba constante, 4 Bomba de regulación.

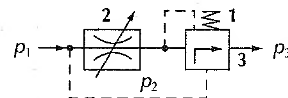


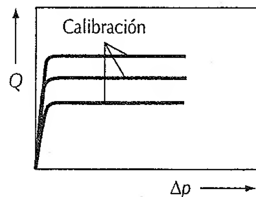
Válvula de mariposa





Válvula reguladora de caudal de 2 vías
1 Muelle, 2 Estrangulamiento de medida, 3 Estrangulamiento de regulación (balanza de presión)





Válvulas de paso

Válvulas de mariposa

En las válvulas de mariposa se regula la corriente de aceite variando la sección de paso. Por principios de hidráulica esta limitación del caudal depende de la presión y por ello sólo se aplica a las regulaciones de velocidad sencillas. Para limitar el caudal independientemente de la presión se precisa de válvulas reguladoras.

Válvulas reguladoras de caudal

Para poder regular el caudal de aceite Q independientemente de la presión de la carga p_3, en las válvulas reguladoras de caudal de 2 vías se regula la caída de presión en el estrangulamiento de medición ($p_1 - p_2$) de forma constante por medio de un estrangulamiento variable (balanza de presión). La caída de presión $p_1 - p_2$ equivale a la fuerza del muelle que actúa sobre la balanza de presión.

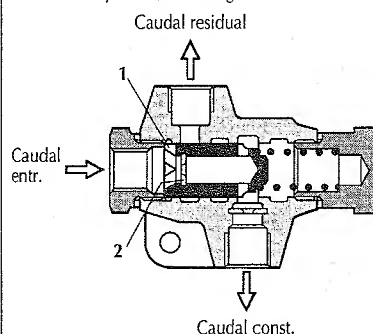
Con este sistema de mando, el caudal de aceite sobrante sale a través de la válvula de limitación de presión de la instalación. Se consiguen pérdidas pequeñas en las válvulas reguladoras de caudal de 3 vías, con un orificio de salida adicional, a través del cual el caudal residual fluye hacia el depósito o hacia otros consumidores.

Válvulas de presión

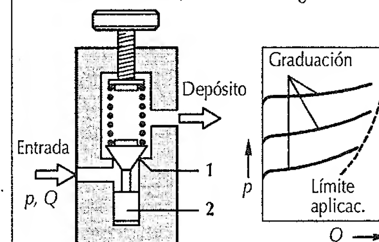
Válvula limitadora de presión

Para proteger los componentes del conjunto, y para la seguridad del servicio de la instalación, los circuitos hidráulicos llevan una válvula limitadora de presión (DBV). Si la presión que actúa sobre el diámetro del asiento alcanza el valor correspondiente a la tensión previa del muelle, se abre el cono de la válvula, y el aceite fluye hacia el depósito. Para caudales de aceite mayores y diagramas característicos independientes

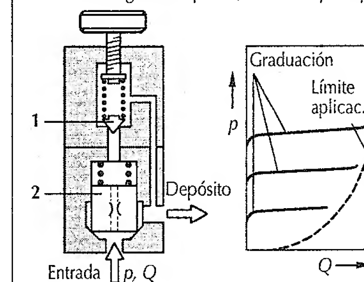
Válvula reguladora de caudal de 3 vías
1 Balanza de presión, 2 Diafragma de medición



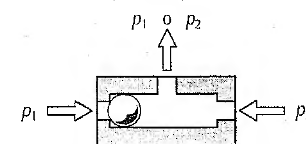
Válvula limitadora de presión con mando directo
1 Asiento de la válvula, 2 Pistón amortiguador



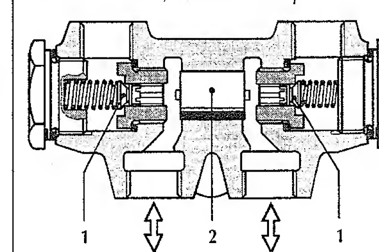
Válvula limitadora de presión con regulación previa
1 Válvula de regulación previa, 2 Válvula principal



Válvula selectora (de 3 vías)



Válvula antirretorno doble, desbloqueante, hidráulica
1 Válvula de asiento, 2 Pistón desbloqueador



del caudal, se utilizan válvulas reguladoras de presión con regulación previa. La válvula de regulación previa, descarga el espacio del muelle de la válvula principal que regula la unión al depósito.

Válvula reductora de presión
Reduce la presión para un aparato de consumo dado de la instalación.

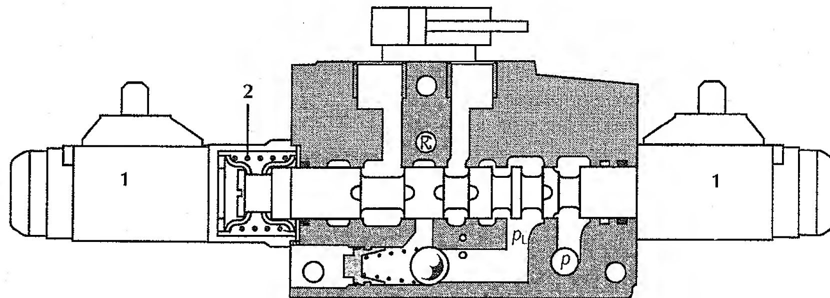
Válvula de conexión (válvula en serie)
Cuida del suministro preferente del circuito primario de una instalación hasta que se alcanza la presión graduada, y entonces da paso al circuito secundario. En las instalaciones con varias bombas, con el fin de ahorrar energía, los caudales de aceite que no se precisan momentáneamente, se desvían hacia el depósito por un trayecto corto a través de válvulas de desconexión.

Válvulas de bloqueo
Mantienen la presión de la carga contra fuerzas y pesos exteriores. La estanquidad necesaria sólo se consigue con válvulas de asiento.

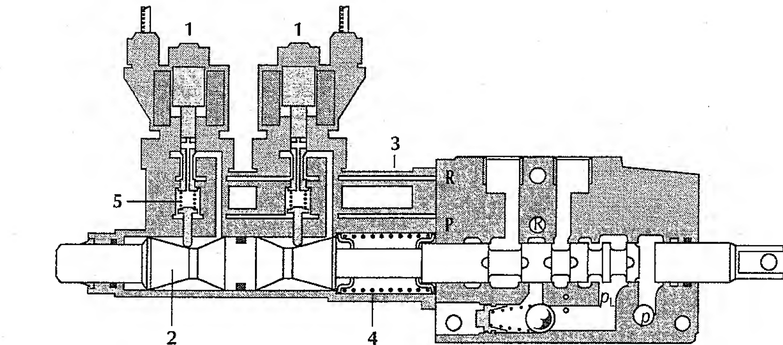
Válvula selectora
Elige la presión más elevada de dos presiones opuestas y la conduce hacia su salida. El elemento de estanquidad cierra la vía de presión más baja.

Válvula antirretorno
En una válvula antirretorno sencilla, la circulación sólo es posible en un sentido; en el contrario, está bloqueado.
En función de retención de carga, para bajar, debe estar abierta la válvula antirretorno. Para ello en las válvulas antirretorno desbloqueables se hace subir mecánicamente, hidráulicamente o eléctricamente desde el asiento un elemento de cierre hermético.

Válvula de distribución con accionamiento directo de imanes
1 Imán de elevación, 2 Muelle de retroceso



Válvula de distribución con accionamiento electrohidráulico
1 Válvula de regulación previa, 2 Émbolo de posicionado, 3 Entrada y salida del aceite de regulación, 4 Muelle de retroceso, 5 Muelle de medición

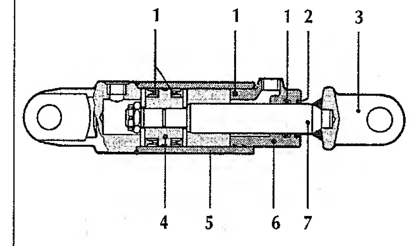


Válvulas proporcionales eléctricas
A pesar de sus mayores costes de fabricación, los fabricantes de vehículos se ven obligados a integrar este tipo de bombas por sus ventajas de montaje y de aplicación.

Accionamiento magnético directo
La corredera de distribución es regulada mediante imanes de carrera contra un muelle de retroceso, de forma proporcional a la corriente de excitación. La fuerza del imán determina el límite de aplicación., p.ej. 30 l/min, 200 bar. Debido a la carrera corta, sólo son posibles 3 válvulas de posición.

Accionamiento electrohidráulico
La "unidad de posicionado electrohidráulica" EHS produce una gran fuerza de accionamiento para una potencia de conmutación alta. Mediante una regulación de la posición de la corredera de la válvula distribuidora se compensan influencias de interferencias. Los requerimientos de hidráulica de un vehículo se pueden cumplir con una regulación mecánica con comparación de fuerzas. El émbolo de posicionado se regula con dos válvulas magnéticas 3/2. Para la regulación una válvula de regulación previa es excitada con una corriente determinada, la corredera conecta contra el muelle de medición: el émbolo de posicionado se mueve. El palpador tensa el muelle de medición a través del cono de retroceso. En cuanto la fuerza del muelle iguala a la del imán, la corredera de regulación previa toma la posición de bloqueo y termina el movimiento. Las influencias interferentes, como pueden ser las fuerzas de corriente,

Cilindro
1 Elemento de junta, 2 Anillo rascador, 3 Cabeza articulada, 4 Pistón, 5 Tubo de cilindro, 6 Casquillo guía, 7 Vástago del pistón



se regulan. La corriente de imán, proporcional a la corriente del aceite, tiene una histéresis inferior al 3%, el tiempo de ajuste para un salto de 100 % del valor nominal es inferior a 0,1 s.

Cilindros

Los cilindros producen un movimiento rectilíneo (fuerza, velocidad) a partir de potencia hidráulica (presión, caudal de aceite). Se caracterizan por una elevada densidad de potencia y pequeño gasto constructivo. Su rendimiento depende de las juntas, del acabado de la superficie y de la presión. Además de la fuerza y la velocidad, la resistencia al pandeo es uno de los criterios importantes a tener en cuenta en su estudio. Por medio del mismo se determinan las medidas y la carrera. Como elemento de sujeción en la cabeza del cilindro y en el fondo del mismo se utilizan taladros, horquillas, rótulas y roscas.

Tabla 1. Formas constructivas de cilindros

Tipos	Notas	
De simple efecto	El accionamiento sólo es posible en un sentido	
De doble efecto	Dos sentidos de accionamiento. Las presiones que impulsan por el lado del pistón y del vástago son distintas	
	Dos sentidos de accionamiento. En ambas superficies actúa la misma presión. El vástago de pistón atraviesa de lado a lado	

Hidráulica del tractor

La oleohidráulica convierte el tractor en un vehículo universal y móvil para la agricultura y la explotación forestal. Los múltiples aparatos auxiliares que se le pueden acoplar con ayuda de la hidráulica delante, detrás y entre ejes son de mando rápido y se regulan a la posición conveniente para el trabajo que hayan de efectuar. Por medio de conexiones por enchufe hidráulicas se maniobran automáticamente los otros motores lineales y rotatorios que lleva incorporados. El manejo del tractor se aligera por medio de servomecanismos hidráulicos para la dirección (véase también el capitulo sobre dirección), frenado, embrague y cambio de marchas. Las sobrecargas del tractor se evitan por medio de válvulas limitadoras de presión incorporadas. Los remolques se pueden frenar hidráulicamente con los frenos del tractor.

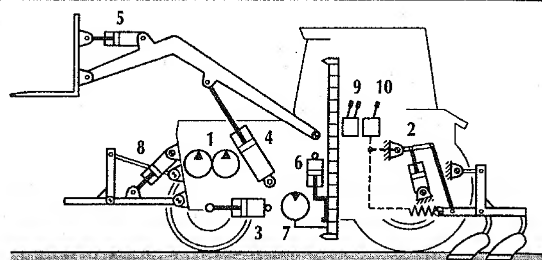
La razón del amplio uso de la hidráulica en el tractor es su elevada densidad de potencia y flexibilidad. Los múltiples campos de aplicación desde los pequeños tractores para viñedos, con una potencia de unos 20 kW en su conjunto de aparatos, los tractores corrientes, los de explotación forestal y los de obras, hasta los grandes tractores de dirección articulada de unos 300 kW, exigen diferencias de potencia, sistema y función de la hidráulica.

Sistemas hidráulicos para tractores

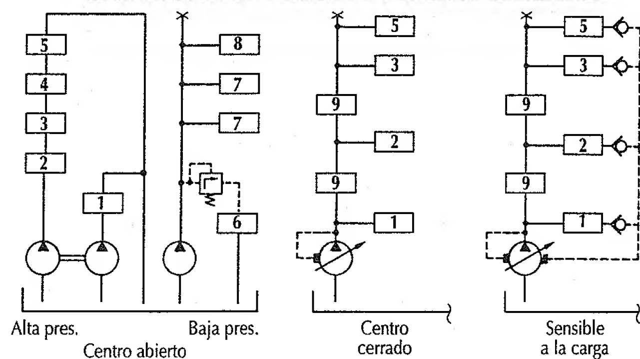
Los sistemas hidráulicos tienen por lo general, cómo mínimo un circuito de alta presión con presiones de hasta un máximo de 250 bar y caudales de aceite de máximo 120 l/minuto, así como un circuito de baja presión de unos 30 bar y aprox. 20 l/minuto. Las diferencias fundamentales se dan en el circuito de alta presión. Los criterios importantes de selección son: las pérdidas de energía, la complejidad y los costes.

Sistema open-center
(Q = constante, $p \neq$ constante)
Este sistema es el más extendido a causa de su favorable relación coste/potencia. Se utilizan ante todo bombas de engranajes. En la posición no accionada de las válvulas, el caudal de aceite, que sólo varia con el número de revoluciones del motor diesel, retorna al depósito por la posición neutra. Para accionar uno o más aparatos se

Hidráulica del tractor
1 *Bomba tándem*
2 *Mecanismo elevac. trasero*
3 *Dirección*
4 *Cargador frontal*
5 *Horquilla frontal*
6 *Elevación segadora*
7 *Motor segadora*
8 *Mecanismo elevac. frontal*
9 *Válvula de distribución*
10 *Válvula de regulación*



Sistema hidráulico
1 *Dirección hidráulic.*
2 *Frenos remolque*
3 *Equipo adicional*
4 *Mecanismo segadora*
5 *Regulac. mecan. elev.*
6 *Engrase mecanismos*
7 *Cambio transmisión*
8 *Acoplamiento árbol de toma*
9 *Válvula de prioridad*



estrangula el caudal de posición neutra en la válvula y se conduce la cantidad de aceite, correspondiente a la regulación, hacia las conexiones de trabajo. Por medio del acoplamiento de una válvula (por ejemplo, para los frenos del remolque), incorporación de una bomba adicional (por ejemplo, para la dirección), así como por medio de válvulas reguladoras de caudal y de prioridad, se obtienen las conexiones de prioridad para las funciones de seguridad. Además, el circuito principal de trabajo se puede subdividir mediante dos bombas en tres grupos de potencia (Q_1, Q_2 y $Q_1 + Q_2$).

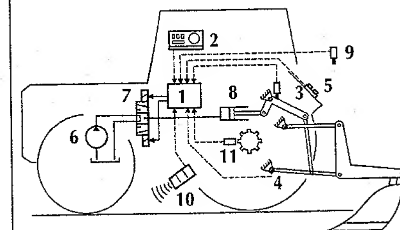
Sistema closed-center
($Q \neq$ constante, p = constante)
Una bomba de regulación, de pistón, cuando la válvula está en la posición neutra, trabaja contra un sistema cerrado y transporta sólo las pérdidas por fugas a la máxima presión constante. Al accionar una válvula, la bomba se regula automáticamente a más caudal dando el que corresponda para el trabajo. A través de válvulas adicionales de prioridad se obtienen las funciones de seguridad necesarias, como por ejemplo, la dirección y los frenos del remolque.

Sistema load-sensitive
($Q \neq$ constante, $p \neq$ constante)
Al igual que en el sistema closed-center, se utiliza también en este caso una bomba de regulación. Por medio de tuberías de regulación adicionales se toma sin embargo la presión de carga más alta que participa en el proceso de mando. La bomba mantiene constante un gradiente de presión de regulación entre la salida de la bomba y la presión de carga. El caudal circulante corresponde así a la abertura dada de la válvula. Funcionando en paralelo, a diferentes presiones de carga, unos reguladores de caudal adicionales de dos vías, en la válvula de paso del aceite, regulan el caudal. El sistema se utiliza pues cuando se dispone de elevada potencia hidráulica instalada, pero durante mucho tiempo sólo se utiliza un caudal parcial (por ejemplo: motores hidráulicos rotatorios relativamente pequeños).

Regulación del mecanismo de elevación trasero

El mecanismo de elevación trasero con su acoplamiento de 3 puntos normalizado es el dispositivo de enganche más utilizado para los aparatos de trabajo. Los aperos se pueden subir, bajar y detener, así como regular a una fuerza de tracción constante en las barras de articulación o en una posición constante respecto al tractor. La regulación de la fuerza de tracción se utiliza principalmente en el trabajo del suelo, por ejemplo, en los arados (una fuerza de tracción constante produce una profundidad constante en suelos homogéneos). Una buena regulación, es decir, pequeñas variaciones de la fuerza de tracción, es muy importante para el ahorro de combustible a pleno rendimiento de la potencia del motor, en la zona óptima del diagrama característico del motor y con oscilaciones pequeñas de la profundidad. Puesto que los aperos son conducidos por la regulación del mecanismo de elevación, es decir, son en gran parte también soportados, las fuerzas de tracción actúan como cargas adicionales en las ruedas de tracción. Esto significa menor resbalamiento de los neumáticos y con ello menos pérdida de energía. La regulación de posición se utiliza principalmente para aperos que no penetran en el suelo. Además, una parte de la regulación de posición se puede combinar con la regulación de fuerza de tracción (regulación mixta)

Regulación electrónica del mecanismo trasero de elevación (EHR-D)
1 *Electrónica,* **2** *Pupitre de mando,* **3** *Sensor de posición,* **4** *Perno de medición de fuerza,* **5** *Accionamiento trasero,* **6** *Bomba,* **7** *Válvula de regulación,* **8** *Cilindro,* **9** *Sensor externo,* **10** *Sensor radar,* **11** *Sensor del número de revoluciones*



para limitar las oscilaciones de profundidad en suelos muy variables.

Regulación mecánica del mecanismo de elevación (MHR)
Las señales de medición se determinan y procesan en forma de recorridos mecánicos. Las fuerzas de tracción se miden ya sea en la biela superior o en las dos inferiores. El valor prescrito de la posición puede tomarse de un disco de leva situado en el árbol de carrera. A través de un varillaje de regulación, las señales son transmitidas a la válvula de regulación –correspondiendo a la relación predeterminada de mezcla– y allí se comparan con el valor prescrito por el conductor. Elevando o bajando el mecanismo de elevación se compensan las eventuales desviaciones de regulación.

Regulación electrónica del mecanismo de elevación (EHR)
La característica principal de esta regulación es la obtención, transmisión y procesamiento de las señales necesarias de medición y de regulación por vía eléctrica. La regulación electrónica del mecanismo de elevación efectúa una medición directa de la fuerza a través de pernos medidores de fuerza en el punto de articulación del varillaje. Según sea el nivel de equipamiento del regulador electrónico y de los sensores, pueden agregarse funciones adicionales a la regulación de la posición y de la fuerza. El accionamiento trasero alivia el brague de aparatos para la regulación de la posición de un apero respecto a la superficie de la tierra (p.ej. para arrancar remolachas), puede conectarse un sensor externo. Un sensor de velocidad (radar) y un sensor del número de revoluciones permiten la determinación del resbalamiento y con ello la regulación del resbalamiento límite. En un recorrido de transporte con aperos pesados montados adicionalmente, se pone en servicio la amortiguación activa de oscilaciones, para más comodidad y seguridad.

Regulación de mecanismos de elevación con transmisión hidráulica de la señal
El esquema básico es un circuito de puente hidráulico, en el cual los valores reales y nominales de la magnitud de regulación se dan a través de elementos de estrangulamiento en las bifurcaciones del puente y la válvula de regulación se acciona contra la fuerza del muelle equilibrador por la diferencia de presión tomada diagonalmente cuando exista desviación en la regulación.

Válvulas distribuidoras para tractores
Según sea el sistema hidráulico, las válvulas distribuidoras tienen una posición neutra abierta o cerrada para el circuito de alta presión con actuación de la carga. Con el fin de poder sostener cargas pesadas, durante tiempos largos y por motivos de seguridad, se utilizan a menudo válvulas de asiento o de compuerta (véase el capitulo de válvulas de distribución), junto con válvulas de asiento, desbloqueables mecánica o hidráulicamente, incorporadas a continuación en la conexión de trabajo. Además de tres posiciones para bajar, subir y sostener la carga, las válvulas tienen a menudo una cuarta posición (posición "flotante"), con el fin de permitir la conducción por el suelo del aparato de trabajo, por ejemplo, por medio de ruedas de apoyo. Dispositivos de enclavamiento con desenclavamiento hidráulico a una posición máxima cuidan del retorno automático de una válvula accionada a la posición neutra en caso de sobrecarga y de llegar al tope del cilindro (servicio asistido). Los reguladores de caudal integrados permiten la conexión en paralelo independiente de la presión y la velocidad, o sea constancia del número de revoluciones de motores lineales o rotatorios. Válvulas de choque incorporadas protegen al tractor de sobrecargas en el caso de circuito de trabajo cerrado.

Para el accionamiento de las varias funciones hidráulicas del aparato de trabajo se utilizan válvulas electromagnéticas que se mandan por cable desde el tractor (p.ej. arrancadoras de remolachas).

El suministro de fluido hidráulico se realiza a través de acoplamientos de enchufe hidráulicos o por medio de una bomba aparte accionada por el árbol de toma de fuerza del tractor. Para el cambio de marchas y accionamiento de los diversos acoplamientos del tractor se introducen cada vez más válvulas de maniobra electromagnéticas en el circuito de baja presión.

Para el frenado de remolques se conecta una válvula del freno en el circuito de alta presión, que está mandada por el freno del remolque y regula la presión de frenado correspondiente en el remolque.

Acumuladores hidráulicos

Misiones: acumulación de energía, amortiguación de pulsaciones y de golpes y elementos de suspensión.

Los acumuladores hidráulicos constan de un recipiente dividido en dos compartimientos por un separador móvil elástico o rígido; en uno hay gas y en el otro líquido. Principalmente son de tres tipos: de burbuja, de membrana y de émbolo.

Como gas de relleno se utiliza el nitrógeno. Durante el funcionamiento del acumulador el gas es comprimido por la presión del líquido. La presión mínima de servicio p_1 debería estar como mínimo un 10 % por encima de la presión de pretensado p_0. La relación entre presión de pretensado y la presión máxima de servicio p_2 no debería exceder de 1:4 en los acumuladores de membrana y de burbuja y de 1:10 en los de émbolo. Los tres estados de funcionamiento representados en el diagrama están sometidos a las leyes del cambio de estado politrópico:

$$p_0 \cdot V_0^n = p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n$$

Para el nitrógeno el exponente politrópico en cambios de estado isotérmicos es de n = 1, y en cambios de estado adiabáticos es de n = 1,4. El volumen disponible de líquido entre las presiones de servicio resulta de la diferencia de volúmenes:

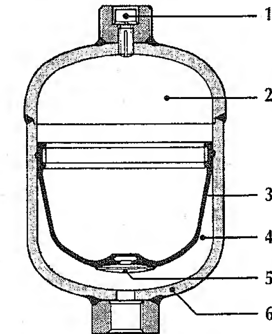
$$\Delta V = V_1 - V_2.$$

Accionamientos adicionales

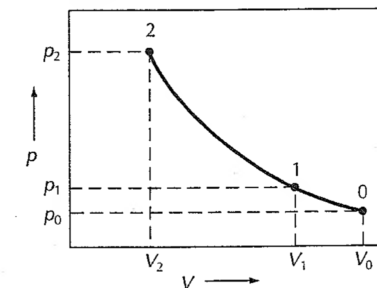
Como unidad de accionamiento para numerosas funciones adicionales en los vehículos se utilizan generadores electrohidráulicos. Junto a la ventaja de una elevada densidad de potencia ofrecen la posibilidad de un montaje flexible. Los grupos electrohidráulicos mandan dispositivos de empuje, ejes de arrastre, y elevan los ejes de los tractores. También se utilizan para instalaciones de dirección y elevación en carretillas elevadoras y otros medios de transporte. Un punto vital de aplicación de los grupos electrohidráulicos lo constituyen las trampillas montacargas con cargas útiles de 300 hasta 5000 kg.

El movimiento global de la trampilla montacargas se divide en elevación y descenso. Mientras que el movimiento de carrera se realiza por medio de un cilindro central o bien dos cilindros exteriores, para sólo inclinar se utilizan por regla general dos cilindros, que son de simple efecto con retroceso por muelle o de doble efecto. Según el tipo de construcción la posición inclinada automática de la trampilla montacargas se realiza mecánica o hidráulicamente. Entre las principales funciones de mando hay que resaltar además de la "elevación" y el "descenso", una "posición flotante" para la carga en rampas, que se fija en cualquier posición deseada (inclinación a plena carga), así como el mantenimiento de velocidades prescritas para la elevación y el descenso.

Acumulador de membrana
1 *Tornillo de cierre,* **2** *Compartimiento para el gas,* **3** *Membrana,* **4** *Compartimiento para el líquido,* **5** *Botón de cierre,* **6** *Recipiente de acero*



Estados de servicio en el acumulador hidráulico
p_0 Presión de pretensado del gas, p_1 Presión mínima de servicio, p_2 Presión máxima de servicio, V_0 Volumen a presión de pretensado del gas, V_1 Volumen a presión mínima de servicio, V_2 Volumen a presión máxima de servicio



Accionamiento hidrostático del ventilador

La regulación por el aire de la temperatura del líquido refrigerante se realiza actuando por medio del termostato, en el número de revoluciones del ventilador del radiador. Debido a la necesidad de un montaje flexible del radiador no unida al motor de combustión del vehículo, se utilizan especialmente los accionamientos hidrostáticos para el ventilador en las potencias superiores (autobuses, camiones, máquinas para la construcción y agrícolas e instalaciones estacionarias). Junto a la disposición flexible del radiador, ofrecen la ventaja de una mayor densidad de potencia (escaso peso, menor necesidad de espacio de los elementos constructivos), facilidad de regulación y de mando, así como una elevada seguridad y poco desgaste de las piezas por su autolubrificación por medio del líquido de servicio.

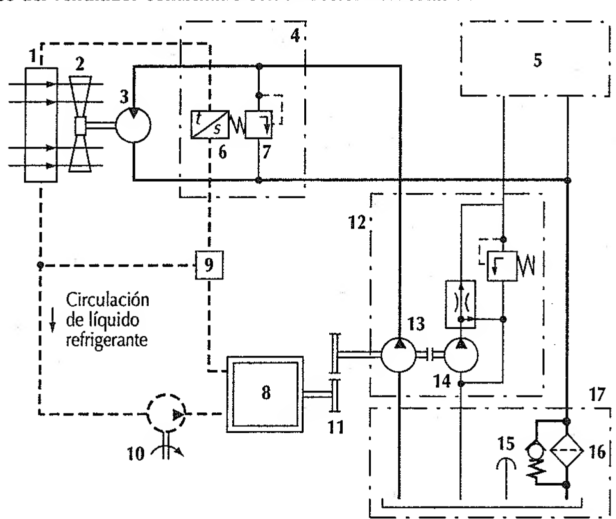
El accionamiento hidrostático del ventilador consta en esencia de una bomba hidráulica y un motor hidráulico (máquinas de engranajes de alta presión, o de pistón) y de una válvula regulada por temperatura, en la derivación hacia el motor hidráulico, para influir en el número de revoluciones del motor. La bomba hidráulica es accionada directamente por el motor de combustión o a través de correas trapezoidales (con una relación de transmisión). La bomba acciona el motor hidráulico acoplado al ventilador, cuyo número de revoluciones depende según la característica del ventilador ($n_L \sim \sqrt{\Delta p_M}$) del gradiente de presión útil (Δp_M) y si se desprecian las pérdidas en el sistema de transporte, directamente de la presión del sistema (p).

Para la regulación de la temperatura del medio refrigerante del motor se utilizan reguladores continuos o discontinuos. En la regulación de 2 puntos (discontinua), la válvula de derivación es una válvula de paso regulable eléctricamente, que se conecta o desconecta por medio del termostato situado en la corriente del líquido de refrigeración del motor. La presión del sistema regulada (casi siempre 200 bar), en una válvula de presión instalada en paralelo, determina el número de revoluciones máximo del ventilador para cuando la válvula de paso está cerrada, es decir, la potencia de refrigeración. En la regulación constante la válvula de desviación es una válvula de presión o de estrangulamiento con válvula adicional de desviación para la limitación de la presión del sistema. Ajustado por una regulación de posicionado que trabaja de forma proporcional a la temperatura, varía, sin escalones, la presión del sistema (en la válvula de estrangulamiento mediante el caudal que sale por la desviación). El dispositivo de ajuste puede ser un elemento de trabajo en forma de termostato (elemento dilatable con relleno de cera) lamido por la circulación del líquido de refrigeración. Los sistemas electrohidráulicos adquieren importancia creciente cuando la válvula se fija por medio de un imán posicionador (electroimán de conexión regulado proporcional o modulado por longitud de impulso). La señal de salida de un captador eléctrico de temperatura en la corriente del liquido refrigerante regula a través de la electrónica de amplificación este electroimán posicionador. Dentro de la zona de regulación de 5 °C esta variación de presión del sistema proporcional a la temperatura realiza un acoplamiento continuo del número de revoluciones del ventilador a las necesidades de potencia de refrigeración. La proporción de tiempo de servicio a número de revoluciones máximo sólo es de alrededor del 5 %. En la zona de trabajo predominante, el ventilador funciona a número de revoluciones más reducido. Con ello se reduce el consumo de combustible y los ruidos. Las pérdidas ocasionadas por el sistema ascienden como máximo al 15 % de la potencia de accionamiento del ventilador con esta regulación con recuperación de energía de inercia y, por ello, son económicamente soportables.

Con el fin de asegurar la ventilación del compartimiento del motor, especialmente en el caso de motores blindados de vehículos con optimización contra ruidos, por medio de un número de revoluciones de base del ventilador se limita adicionalmente la presión del sistema a un valor mínimo. Según el equipamiento de la electrónica de mando, se pueden procesar ulteriores señales de entrada analógicas o digitales (p.ej. temperaturas externas o internas), las cuales influyen en el imán posicionador o las revoluciones del ventilador, a través de una señal de salida correspondiente. Un ejemplo de ello es la aplicación combinada del accionamiento del ventilador para la regulación de las temperaturas del líquido de refrigeración, del aire de compresión y de la temperatura del compartimiento del motor o bien la conexión de la velocidad máxima del ventilador al usarse retardadores de marcha. En sistemas electrohidráulicos es posible su integración en un sistema de administración del motor. Los accionamientos hidrostáticos de los ventiladores ofrecen la posibilidad de suministro a otros sistemas o la combinación de otros sistemas auxiliares de accionamiento, tales como embrague, cambio, compresor, bomba de agua, generador, dirección hidráulica asistida, hidráulica de trabajo para el volquete, etc. Por medio de una técnica de circuitos adecuada o por medio de una combinación de bomba múltiple se pueden satisfacer,

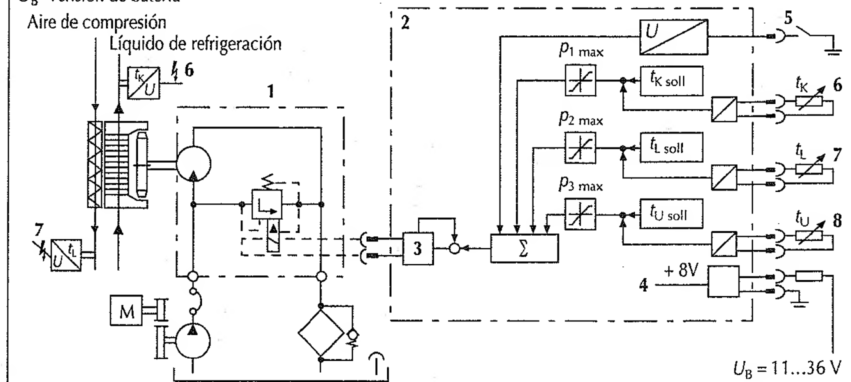
Accionamiento hidrostático del ventilador combinado con dirección hidrostática

1 *Radiador*
2 *Ventilador*
3 *Motor hidráulico*
4 *Válvula de derivación*
5 *Dirección hidrostática*
6 *Dispositivo posicionador*
7 *Válvula de presión*
8 *Motor de combustión*
9 *Regulador del líquido refrigerador (termostato)*
10 *Bomba del líquido refrigerante*
11 *Relación de transmisión*
12 *Bomba hidráulica (del tipo tandem)*
13 *Parte 1 de la bomba hidráulica*
14 *Parte 2 de la bomba hidráulica*
15 *Filtro de aire*
16 *Filtro*
17 *Depósito de aceite*



Accionamiento electrohidráulico del ventilador

1 *Motor hidráulico de engranaje con válvula proporcional de presión,* **2** *Dispositivo de mando,* **3** *Regulador de caudal,* **4** *Regulador de tensión,* **5** *Servicio retardador. Sensores de temperatura para:* **6** *Líquido de refrigeración,* **7** *Aire de compresión,* **8** *Medio ambiente*
U_B *Tensión de batería*



entre otras, las exigencias de prioridad de funciones y técnicas de seguridad.

Accionamientos hidrostáticos

Si se une la toma de presión de una bomba hidráulica de caudal variable a un motor hidráulico constante o, dado el caso, también variable (motor de émbolo o de engranajes), se obtiene un accionamiento de regulación continua. La potencia mecánica de entrada (par de giro × número de revoluciones) queda de nuevo disponible en otro lugar como potencia mecánica de salida. La relación de transformación en cada caso se determina por medio del cociente de dividir el volumen impulsado por la bomba por el absorbido por el motor. Por ello es posible montar en paralelo varios motores (accionamiento diferencial) o en serie (sincronía). Un accionamiento simple, en circuito abierto (aplicación por ejemplo en vehículos esparcidores) no puede, en efecto, variar la dirección de giro ni transmitir el par de frenado sin dispositivos auxiliares. No obstante, es muy apropiado para accionamientos secundarios regulables, como pueden ser ventiladores, platos esparcidores y similares.

Accionamientos principales

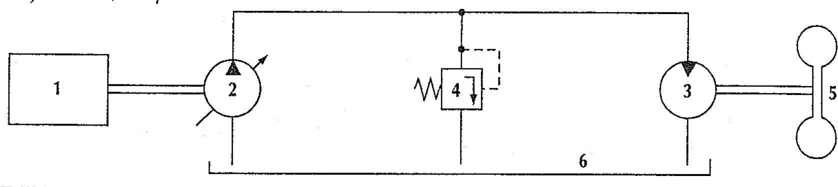
Para el accionamiento hidrostático de vehículos es imprescindible que puedan invertir la marcha y que sean mecanismos de frenado. Por ello se ha impuesto fundamentalmente el accionamiento en circuito cerrado. La bomba principal (con dirección de transporte reversible) se combina con una bomba de alimentación, casi siempre embridada, que, al alimentar, repone en el respectivo tramo de baja presión el volumen de fugas o de compresión. Mediante el refuerzo de presión así unido al lado de baja presión, el número máximo de revoluciones admisible de la bomba principal se eleva con respecto al funcionamiento con simple aspiración. Manteniendo constante la relación de transmisión, un accionamiento de ese tipo es casi tan rígido como uno mecánico y por tal motivo totalmente adecuado para el accionamiento de máquinas de taller. Para accionamientos de traslación con idéntico comportamiento que los turismos (por ejemplo, transportadores de superficie) se desarrollaron regulaciones o mandos de tipo "automotor", que actúan simultáneamente en el motor de combustión y la relación del cambio con sólo accionar el pedal de marcha. Los más conocidos son aquellos con los cuales el conductor sólo modifica el número de revoluciones del motor de combustión al accionar el pedal. De ese número de revoluciones se obtiene a través de una bomba auxiliar (a menudo idéntica a la bomba de alimentación) y de un sistema de estrangulación (casi siempre de varios pasos), la presión de regulación correspondiente, que a su vez determina el volumen transportado por la bomba principal por medio de un mecanismo de regulación que es proporcional a la presión. Este principio de regulación es sencillo y a "prueba de sobrecarga", porque al aumentar la presión del número de revoluciones de entrada, la bomba vuelve a la posición de menor caudal, o sea de menor par de impulsión. Pero para exigencias superiores en cuanto a adaptación a la potencia y consumo de combustible se necesitan circuitos más complicados. Las bombas regulables eléctricamente y la tecnología moderna de los sensores permiten también soluciones electrónicas elegantes.

Accionamientos auxiliares

Una rama de utilización relativamente reciente de los accionamientos hidráulicos es la propulsión auxiliar de los ejes de camiones, por lo demás libres, en marcha lenta por terrenos difíciles. En este caso, si es preciso, se puede realizar hidráulicamente a distancia la función del eje cardan y del engranaje de distribución. Es necesario además poder desconectar este accionamiento con pocas pérdidas durante el funcionamiento en el tráfico normal. Esta tarea se realiza desde el motor por medio de una bomba constante que se puede desembragar y conectar a diferentes niveles. En el eje del accionamiento auxiliar hay motores en los cubos de rueda, lentos, cuyos émbolos se retiran por medio de muelles en el caso de circulación normal. De esa forma se puede aplicar el circuito hidráulico a pequeñas velocidades. En circulación normal no hay pérdidas por rotación ni pérdidas importantes por rozamiento causadas por ese accionamiento adicional.

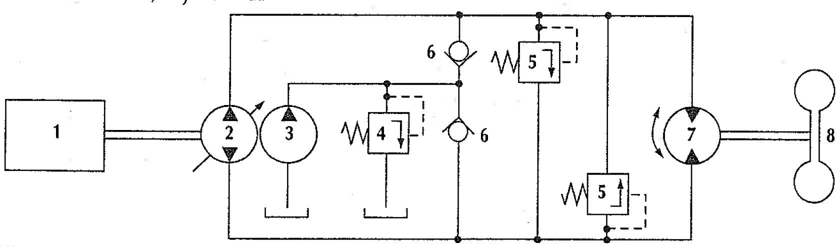
Accionamiento hidrostático en circuito abierto

1 *Motor de combustión,* **2** *Bomba hidráulica de caudal variable,* **3** *Motor hidráulico,* **4** *Válvula limitadora de presión,* **5** *Eje de salida,* **6** *Depósito de aceite*



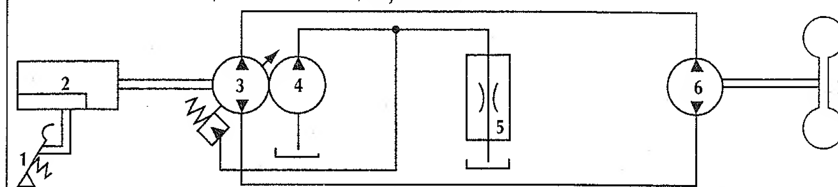
Esquema básico de circuito cerrado

1 *Motor de combustión,* **2** *Bomba hidráulica de caudal variable,* **3** *Bomba de alimentación,* **4** *Válvula limitadora de la presión de alimentación,* **5** *Válvula limitadora de alta presión,* **6** *Válvula de retención de alimentación,* **7** *Motor hidráulico reversible,* **8** *Eje de salida*



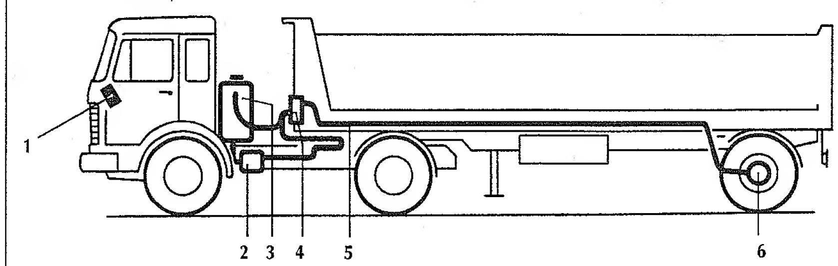
Circuito básico de un mecanismo "automotor"

1 *Pedal de marcha,* **2** *Motor de combustión con regulador del número de revoluciones,* **3** *Bomba hidráulica de caudal regulable proporcional a la presión,* **4** *Bomba auxiliar,* **5** *Red de estrangulación para presión de regulación dependiente del número de revoluciones,* **6** *Motor hidráulico,* **7** *Eje de salida*



Accionamiento hidrostático auxiliar

1 *Regulación eléctrica para el accionamiento de circulación por carretera y el auxiliar,* **2** *Bomba constante desembragable, que se puede conectar a diferentes niveles,* **3** *Depósito de aceite,* **4** *Conexiones por manguera, desmontables,* **5** *Tuberías hidráulicas,* **6** *Motores en los cubos de rueda*



Neumática del vehículo

En la carrocería del vehículo se utiliza la neumática como portadora de energía para:
- Enclavar, accionar y maniobrar puertas, trampillas, válvulas, persianas de radiador, etc.
- Accionar y regular instalaciones de frenos (equipo de frenos) pág. 640 y
- La regulación de nivel, pág. 581.

Accionamiento de puertas (autobuses)

El accionamiento de puertas se realiza en los autobuses por medio de cilindros de trabajo de doble efecto. El movimiento del pistón se transmite a la hoja de la puerta. Por medio del llenado y escape alterno de aire en ambas cámaras del cilindro se abre y cierra la puerta. Se utilizan tres sistemas de accionamiento:
- El vástago del pistón hace girar el eje de la puerta por medio de una palanca. El movimiento del eje es transmitido a la hoja de la puerta por medio de palancas incorporadas en ella arriba y abajo.
- El cilindro de trabajo está unido axialmente al eje de la puerta. El movimiento elevador de su pistón se convierte dentro del eje de la puerta en movimiento giratorio. Con el giro se abre o cierra, respectivamente, la pueta oscilante embridada.
- El cilindro de trabajo (accionamiento giratorio), es una combinación de cilindro y husillo. La carrera de su pistón se convierte en movimiento giratorio en el eje embridado de la puerta.

Con el fin de evitar el paro brusco de la puerta al llegar a su posición final al abrirla o cerrarla, se le puede reducir la velocidad por medio de dispositivos amortiguadores en función de la presión o de la carrera del cilindro, que actúan poco antes de que la puerta llegue a dichas posiciones. El efecto de esta amortiguación de las posiciones extremas se gradúa por medio de un tornillo de estrangulamiento.

El mando del movimiento de las puertas se realiza por medio de una válvula distribuidora electromagnética de 4/2 vías. Por medio de un impulso de corriente, que se dispara, por ejemplo, por medio del pulsador de la puerta en el lugar del conductor, el núcleo inducido de la electroválvula mueve el balancín interruptor a través de un empujador hacia la posición opuesta del balancín. Con ello y por medio del balancín se cierra la válvula de admisión de un lado del cilindro y se abre el escape, y en el otro lado se abre la entrada y se cierra el escape. La válvula de la puerta puede accionarse a mano. Las funciones adicionales de mando y de las válvulas, vienen determinadas por las condiciones de seguridad impuestas por el Código de la Circulación para matriculación StVZO § 35e, las normas para ventanas accionadas, puertas y portones ZH 1/494 de la asociación de profesionales de la industria y las correspondientes para transportes públicos en autobuses normales de línea (VÖV) y por las especificaciones de los fabricantes de vehículos.

La puerta que se está cerrando debe invertir su movimiento si un pasajero queda aprisionado o eliminar la fuerza de cierre (autobús estándar VÖV urbano). Cuando la puerta se está abriendo, la fuerza de apertura debe limitarse a 150 N, o eliminarse si se presenta una resistencia. Después de ser accionada la llave de emergencia, la puerta debe poder moverse a mano por eliminación de la fuerza de apertura o de cierre. Cuando se vuelve a conmutar la llave de emergencia de funcionamiento manual a automático, sólo puede iniciarse el movimiento de la puerta apretando el pulsador aparte de la llave de emergencia (en el lugar del conductor o en la caja de la puerta), o se ponen en servicio las necesarias funciones de seguridad. Los movimientos de las puertas no pueden ser a saltos.

Instalaciones en autobuses de línea urbanos

La inversión de las puertas en los autobuses de línea urbanos se consiguen por medio de un eje de presión montado en las gomas de la puerta, un conmutador de presión diferencial, una célula fotoeléctrica o un potenciómetro, que cuando se aprisiona alguien emiten un impulso eléctrico conmutador y se invierte así la maniobra de válvula de la puerta. Para abertura de puerta, en caso de enclavamiento, se puede dejar la instalación sin presión con estos dispositivos o bien la presión puede actuar en ambos compartimientos del cilindro de la puerta.

En autobuses con más de dos puertas la tercera puerta trasera debe maniobrarse automáticamente. El conductor da sólo la señal de iniciación del ciclo. La abertura de la puerta, el tiempo de permanencia abierta y su cierre se regulan todos electrónicamente con la información del conductor y de los pasajeros.

Para la puerta delantera se desea a menudo que sólo se accione temporalmente la hoja delantera y que la otra permanezca cerrada. Esto se consigue con una válvula distribuidora electromagnética de 2/2 vías que está instalada en la tubería de cierre del cilindro para la segunda hoja de la puerta.

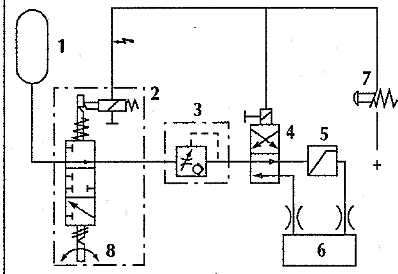
Instalaciones en autocares

Si la llave de emergencia está montada antes de la válvula de la puerta (ver figura), entonces el taqué de la válvula es desbloqueado electromagnéticamente para su retroceso al accionarse el pulsador de la puerta.

En esta puesta en marcha de la fuerza motriz, se evita el golpe de la puerta por medio del limitador de arranque. En servicio normalmente limitador se mantiene abierto por la presión secundaria.

Si la llave de emergencia está montada después de la válvula de la puerta en la tubería hacia la cámara de cierre del cilindro de la puerta. se acciona neumáticamente el pestillo de la llave de emergencia. Al alcanzarse una presión media, el distribuidor levanta el pestillo neumáticamente y conmuta la válvula.

Instalación de accionamiento de puerta *(circuito)*
1 Calderín, 2 Llave de emergencia con desengatillado electromagnético, 3 Limitador de arranque, 4 Válvula de la puerta, 5 Limitador de presión, 6 Cilindro de la puerta, 7 Pulsador, 8 Conmutador eléctrico para señal acústica



Enclavamiento de puertas y trampillas

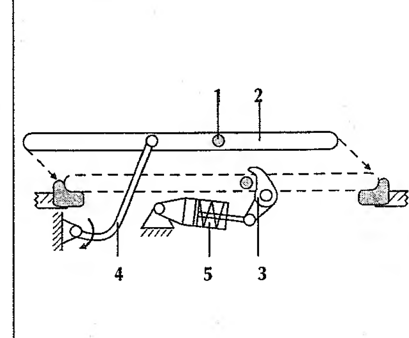
En puertas grandes de oscilación externa de autocares es necesario el enclavamiento de la puerta durante la marcha. Esto se obtiene o bien levantando la puerta después del proceso de cerrado, o mediante dispositivos adicionales de cierre de cilindros de accionamiento, de efecto simple y montados en el bastidor de la puerta. Estos son accionados por la misma puerta, a través de una válvula distribuidora 3/2 de conmutación, ayudando adicionalmente en el accionamiento de la puerta al final del procedimiento de cierre. Este dispositivo de ayuda de cierre y de enclavamiento está concebido de tal forma, que, en caso de caída de presión, libera el enclavamiento. Entonces la puerta sólo es sujetada por el cerrojo de la puerta, el cual, en caso de emergencia, puede abrirse a mano.

No obstante, las trampillas de los maleteros son enclavadas por la fuerza de muelles en el caso de una caída de presión.

Persiana del radiador

El accionamiento de la persiana del radiador se realiza por medio de un cilindro neumático de simple efecto, maniobrado a través de una válvula termostática. Esta contiene un elemento de cera, cuya dilatación dependiente de la temperatura es aprovechada para conmutar una válvula distribuidora 3/2, al alcanzarse una temperatura superior a 80 °C.

Instalación de cierre y de enclavamiento para autocares
1 Perno de enclavamiento, 2 Puerta oscilante, 3 Trinquete de retención, 4 Palanca oscilante, 5 Cilindro de accionamiento



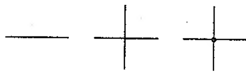
Símbolos de los circuitos en la electricidad del automóvil

Norma: DIN 40 900

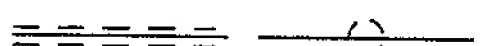
Símbolos generales (selección del esquema de circuitos de la pág. 784)

Conexiones

Conductor; cruce de conductor, con o sin conexión



Conductor blindado



Conexión con actuación mecánica; cruce con o sin conexión

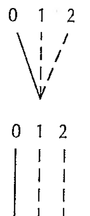


Conexión en general; conexión que pueda soltarse (si es preciso representarlo)

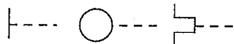


Funciones mecánicas

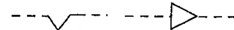
Posiciones de conmutación (posición base en línea continua)



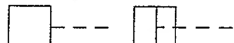
Accionamiento manual/ mediante un sensor (leva)/térmicamente (bimetal)



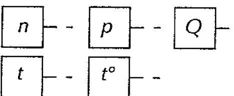
Fiador; retroceso no automático/ automático en dirección de la flecha (pulsador)



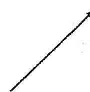
Accionamiento en general (mecánico, neumático, hidráulico)/accionamiento por émbolo



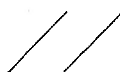
Accionamiento por numero de revoluciones *n*/presión *p*/cantidad *Q*/tiempo *t*/temperatura *t°*



Variable, no por sí mismo (desde el exterior), en general



Variable por sí mismo, por influencia de unamagnitud física lineal/no lineal

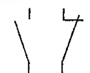


Ajustable, en general

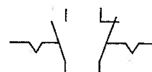


Interruptores y conmutadores

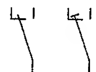
Interruptor de pulsador, que cierra/abre



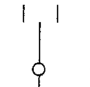
Conmutador enclavador, que cierra/abre, de retroceso no automático



Inversor que conmuta con o sin interrupción



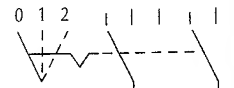
Contactor de dos vías, con desconexión en posición central (p.ej. conmutador de intermitentes)



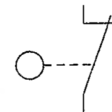
Conmutador gemelo que cierra/abre



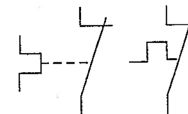
Contactor de múltiples posiciones



Conmutador accionado por levas, (p.ej. ruptor)

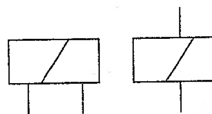


Interruptor térmico/disparador

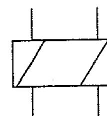


Relés

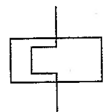
Accionamiento con una bobina



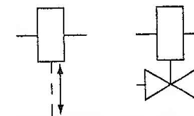
Accionamiento con dos bobinas de igual sentido



Accionamiento electrotérmico de un relé térmico

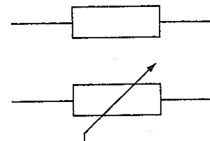


Accionamiento electromagnético, imán impulsor/válvula electromagnética cerrada

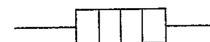


Resistencias

Resistencia/potenciómetro (con tres conexiones)



Resistencia de calentamiento, bujía de incandescencia, bujía de llama, luneta térmica



Diferentes componentes

Fusible

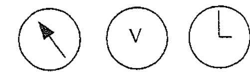


Imanes permanentes

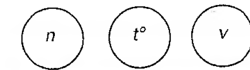


Aparatos indicadores

Instrumento indicador en general/Voltímetro/reloj

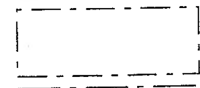


Indicador de numero de revoluciones/indicador de temperatura/Indicador de velocidad

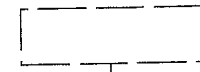


Representación de aparatos

Línea de raya/punto, para la delimitación o para marco alrededor de componentes de un circuito que forman un conjunto



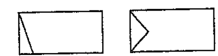
Aparato blindado, el enmarcado conectado a tierra



Aparato o elemento de conmutación. En los cuadros se pueden poner símbolos de conexiones, fórmulas y signos de instrumentos



Dispositivo de mando/regulador



Aparatos en el automóvil (Selección del esquema de circuitos de la pág. 784)

Batería

Conexión de enchufe

Luces, faro

Bocina, claxon

Luneta térmica

Interruptor en general, sin luz de indicación

Interruptor en general, con luz de indicación

Presostato

Relé, en general

Válvula electromagnética, de inyección o de arranque en frío

Relé térmico temporizado

Conmutador de mariposa

Actor rotativo

Válvula neumática adicional con accionamiento electrotérmico

Válvula de regulación de presión (ABS)

Interruptor de temperatura, sensor de temperatura

Posicionador de ralentí

Relé de intervalos de limpiaparabrisas

Regulador de intensidad de luz

Interruptor instalación intermitentes de aviso

Bujía

Bobina de encendido

Bobina de encendido de chispa individual

Distribuidor, en general

Regulador de tensión/generador de corriente alterna con regulador

Motor de arranque con imán de engrane

Bomba eléctrica de combustible, accionamiento de motor de la bomba hidráulica

Motor con ventilador, ventilador

Motor limpiaparabrisas

Aparato de radio, antena

Altavoz

Estabilizador de tensión

Sensor inductivo

Emisor de intermitentes, de impulsos, relé de intervalos

Sensor piezoeléctrico

Sonda Lambda

Medidor volumétrico de aire

Medidor de masa de aire

Sensor cuantitativo, sensor del nivel de combustible

Sensor de revoluciones

Sensor de velocidad

Sensor de movimiento de aguja

Esquemas de distribución

El esquema de distribución es la representación gráfica de dispositivos eléctricos mediante símbolos de conexión, o en su caso, mediante figuras o planos de construcción simplificados.
Indica la forma en que se relacionan y conectan distintos dispositivos eléctricos. El esquema puede complementarse con tablas, diagramas y descripciones. El tipo de esquema de conexiones viene determinado por su finalidad (p.ej. representación del funcionamiento de una instalación) y por el tipo de representación.
El esquema de conexiones tiene que ser representado conforme a las normas, con explicación de las excepciones.
Los recorridos de la corriente preferentemente deben colocarse de manera que el accionamiento o el flujo de señal transcurra de izquierda a derecha y/o de arriba abajo.
En la electricidad del automóvil generalmente los esquemas de conexiones sinópticos se hacen en versión monopolar sin dibujar las conexiones internas.

Esquema de los circuitos

Misión

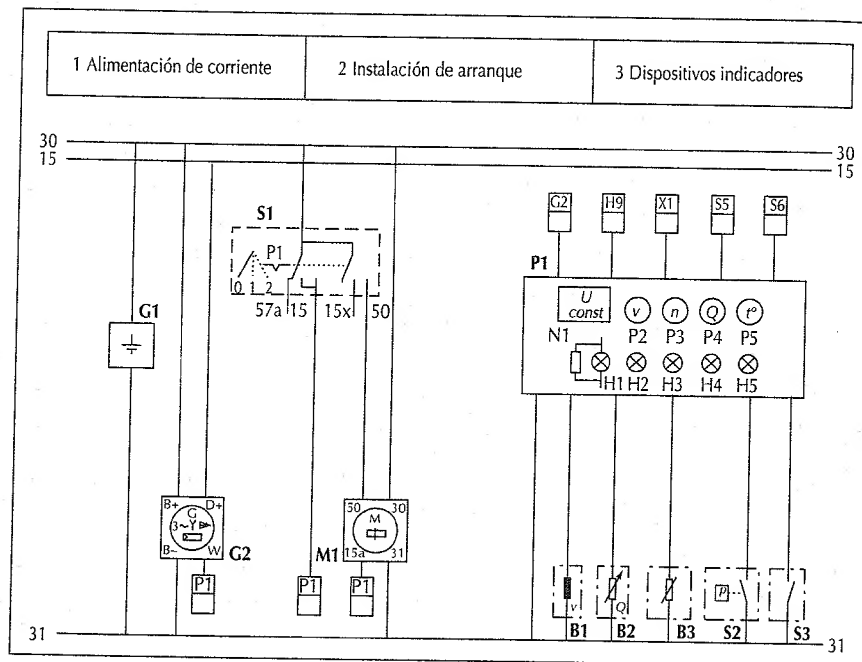
Por medio de representaciones claras de los circuitos, indica el modo de funcionar de una conexión eléctrica. El esquema es la representación detallada de las conexiones de sus elementos. Por medio de figuras que saltan a la vista muestra las distintas formas de actuación de un circuito eléctrico. En ese esquema de la función, que facilita la lectura del circuito, para no entorpecer su claridad, no deben figurar datos técnicos de los aparatos ni de volumen.

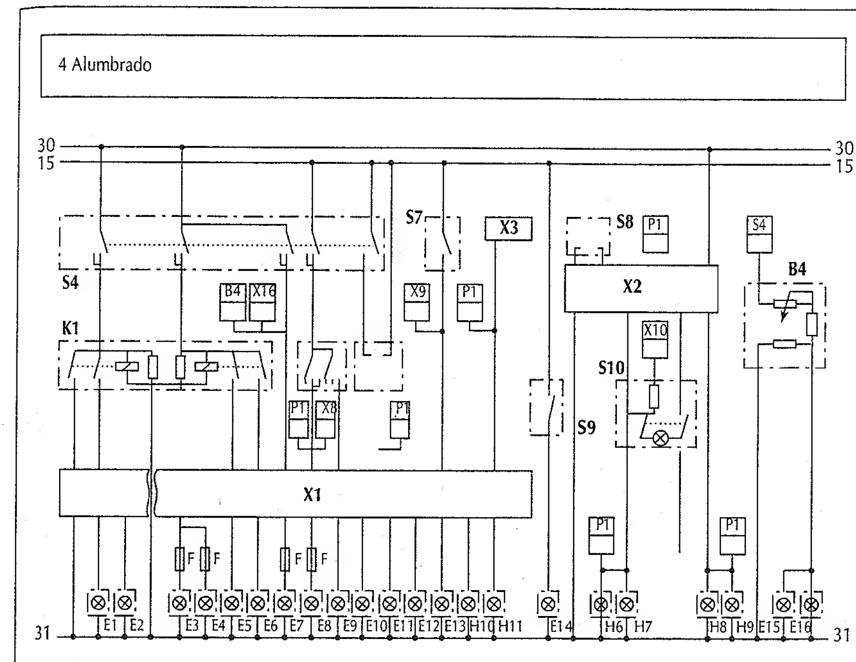
Estructura

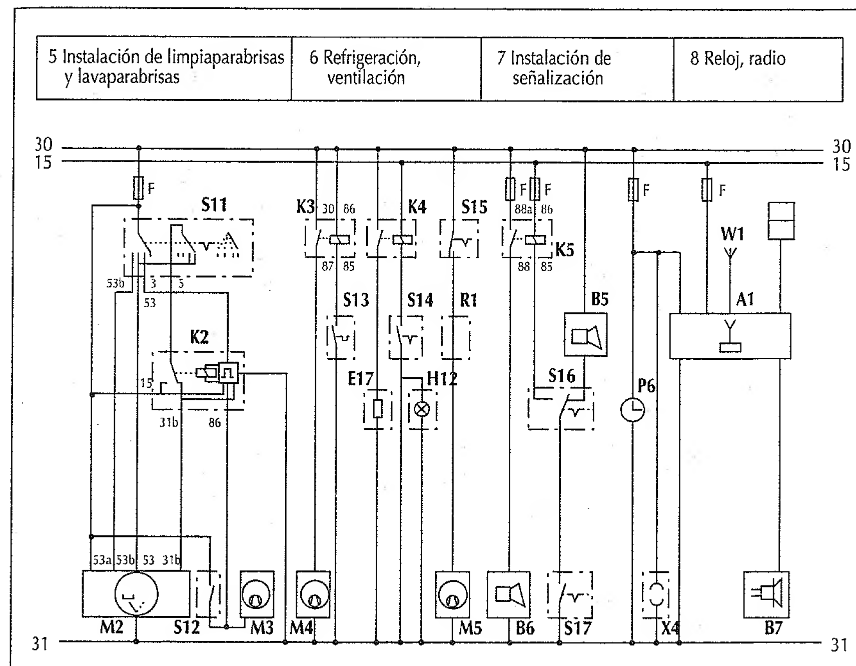
Los siguientes esquemas de circuitos son ejemplos de conexiones en el automóvil. Los planos están destinados a explicar el texto y no están concebidos como base para la construcción o el montaje.

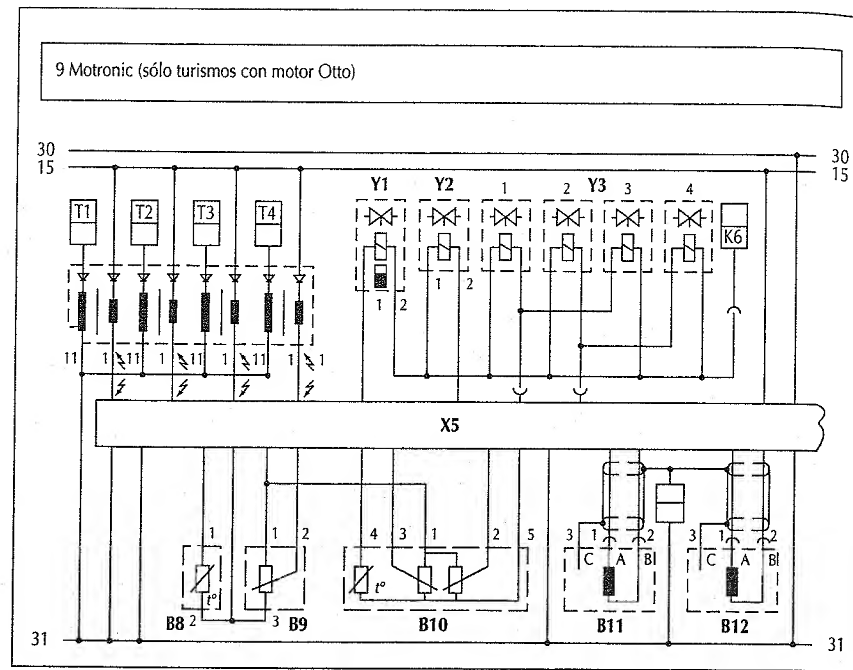
Ejemplos de denominaciones

A1 Simbolización de aparatos (DIN 40719)
15 Designación de bornes (DIN 72552)
1 Simbolización de secciones (DIN 40719)

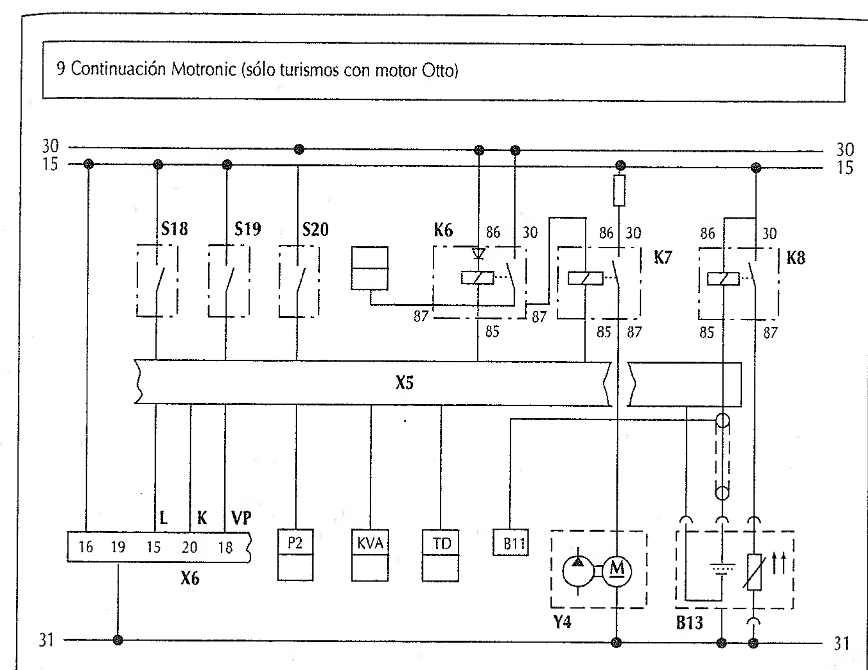




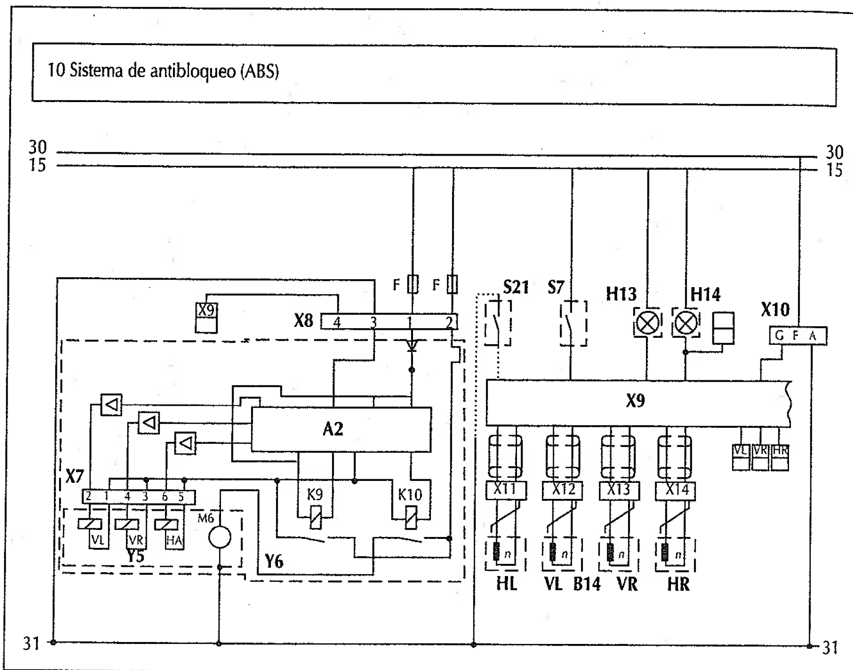




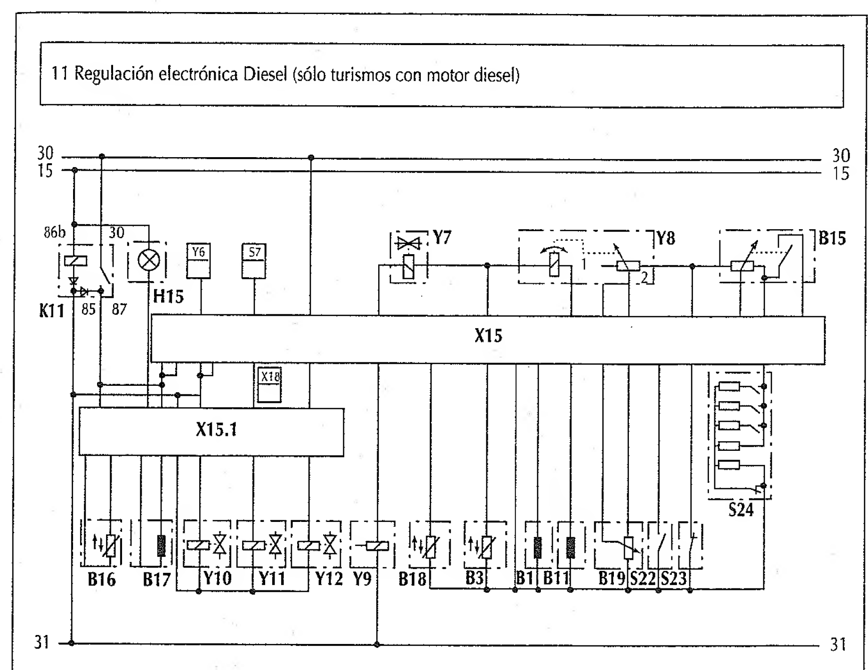
9 Motronic (sólo turismos con motor Otto)



9 Continuación Motronic (sólo turismos con motor Otto)



10 Sistema de antibloqueo (ABS)



11 Regulación electrónica Diesel (sólo turismos con motor diesel)

Simbolización de aparato y adjudicación. (Esquema de los circuitos p. 784)

Símbolo	Aparato	Sección
A1	Radio	8
A2	Dispositivo de mando de accesorios	10
B1	Sensor de velocidad	3, 11
B2	Sensor de nivel de combustible	3
B3	Sensor de temperatura (líquido refrigeración)	3, 11
B4	Regulador de intensidad de luz (iluminación de instrumentos)	4
B5, 6	Bocina, claxon	7
B7	Altavoces	8
B8	Sensor de temperatura (motor)	9
B9	Transmisor válvula estrangulación	9
B10	Medidor volumétrico de aire	9
B11	Sensor revoluciones y marcas referencia	9, 11
B12	Sensor de fases (árbol de levas)	9
B13	Sonda Lambda	9
B14	Sensor revoluciones (ABS)	10
B15	Transmisor valor del pedal	11
B16	Sensor de temperatura (aire de aspiración)	11
B17	Sensor de movimiento de aguja	11
B18	Sensor de temperatura (combustible)	11
B19	Sensor de presión de alimentación	11
E1,2	Luces traseras de niebla	4
E3,4	Faros luces carretera	4
E5,6	Faros antiniebla	4
E7,8	Faros luz de cruce	4
E9,10	Luces de posición	4
E11	Iluminación matrícula	4
E12,13	Luces de posición traseras	4
E14	Luces marcha atrás	4
E15	Iluminación instrumentos	4
E16	Iluminación panel de instrumentos	4
E17	Calefacción luneta térmica	6
F..	Fusibles	
G1	Batería	1
G2	Generador (alternador)	1
H1	Luz control generador	3
H2	Luz de aviso presión aceite	3
H3	Luz control freno de mano	3
H4	Luz control luces de carretera	3
H5	Luz control intermitentes	3
H6..9	Luces intermitentes	4
H10,H11	Luces de freno	4
H12	Luz control (luneta térmica)	6
H13	Luz de aviso ASR	10
H14	Luz de aviso ABS	10
H15	Luz de diagnosis	11
K1	Relé de comprobación luces de posición	4

Símbolo	Aparato	Sección
K2	Relé intervalos limpiaparabrisas	5
K3	Relé ventilador motor	6
K4	Relé luneta térmica	6
K5	Relé bocina tono fuerte	7
K6	Relé principal	9
K7	Relé bomba de combustible	9
K8	Relé calentamiento sondas (sólo catalizador)	9
K9	Relé válvula	10
K10	Relé motor	10
K11	Relé protector polos	11
M1	Motor de arranque	2
M2	Motor limpiaparabrisas	5
M3	Motor lavaparabrisas	5
M4	Motor ventilador refrigeración	6
M5	Motor aire barrido	6
M6	Motor bomba retorno	10
N1	Estabilizador de tensión	3
P1	Instrumento combinado	3
P2	Tacómetro eléctrico	3
P3	Cuentarrevoluciones	3
P4	Indicador nivel de combustible	3
P5	Indicador temperatura del motor	3
P6	Reloj horario	8
R1	Resistencia ventilador	6
S1	Interruptor de encendido/arranque	2
S2	Interruptor presión de aceite	3
S3	Interruptor freno de mano	3
S4	Interruptor iluminación	4
S5	Interruptor luces antiniebla	4
S6	Interruptor luces de cruce	4
S7	Interruptor luces de freno	4, 10
S8	Interruptor intermitentes	4
S9	Interruptor luces marcha atrás	4
S10	Interruptor intermitentes de aviso	4
S11	Interruptor limpiaparabrisas	5
S12	Interruptor lavaparabrisas	5
S13	Interruptor térmico	6
S14	Interruptor luneta térmica	6
S15	Interruptor ventilador	6
S16	Conmutador bocina	7
S17	Pulsador bocina	7
S18	Compresor climatización	9
S19	Disposición climatización	9
S20	Instalación antirrobo	9
S21	Pulsador ASR	10
S22	Conmutador escalones de marcha	11
S23	Interruptor embrague	11
S24	Regulador velocidad de marcha	11
T1..T4	Bobinas de encendido de chispa individual	9
W1	Antena del automóvil	8
X1	Enchufe módulo control lámparas	4

Símbolo	Aparato	Sección
X2	Portalámparas de enchufe relé intermitente de aviso	4
X3	Enchufe control	4
X4	Enchufe diagnosis	8
X5	Enchufe dispositivos de mando	9
X6	Enchufe autocomprobación	9
X7	Enchufe válvulas electromagnéticas	10
X8	Enchufe alimentación corriente	10
X9	Enchufe dispositivos de mando	10
X10	Enchufe para diagnosis	10
X11..14	Enchufe sensores de revoluciones	10
X15	Dispositivo de mando inyector diesel	11
X15.1	Dispositivo de mando inyector diesel	11
X16	Enchufe de la electrónica central de la carrocería	4
Y1	Regulador de ralentí	9
Y2	Válvula de purga de aire del depósito	9
Y3	Válvulas eléctricas de inyección	9
Y4	Bomba eléctrica de combustible (en el depósito)	9

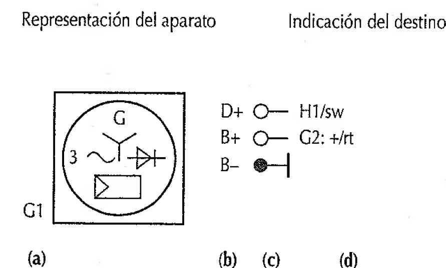
Símbolo	Aparato	Sección
Y5	Válvulas electromagnéticas	10
Y6	Dispositivo hidráulico	10
Y7	Transformador electroneumático de presión	11
Y8	Bomba inyección diesel	11
Y8.1	Regulador cuantitativo	11
Y8.2	Accionador carrera corredera	11
Y9	Dispositivo eléctrico de desconexión	11
Y10	Válvula electromagnética (comienzo inyección)	11
Y11	Válvula conmutación realimentación	11
Y12	Válvula electroneumática de conmutación	11
KVA	Salida información usuario	9
TD	Salida información revoluciones	9
VP	Entrada programación variantes	9
L	Izquierda	
R	Derecha	
V	Delante	
H	Atrás	

Esquema de conexiones en representación separada

En la representación separada se omiten los conductores entre aparato y aparato. Los aparatos se representan por cuadrados, rectángulos, círculos y símbolos o de forma figurativa y caracterizados de acuerdo con DIN 40719, parte 2ª. Todos los conductores que salen de un aparato llevan una indicación de su destino y la denominación de los bornes del aparato de destino, y, si es preciso, el color del conductor.

Ejemplo: generador

(a) *Símbolo del aparato (letra de caracterización y número contador),*
(b) *Designación de los bornes en el aparato,*
(c) *De aparato a tierra,*
(d) *Indicación del destino (letra de caracterización y número contador, designación del borne, color del conductor)*



Denominación de los bornes

El sistema fijado para la denominación de los bornes de los vehículos debe permitir la conexión, lo más posible exenta de errores, de los conductores a los aparatos, en especial en reparaciones y montajes de recambios.

Las designaciones de los bornes no son al mismo tiempo de los conductores, puesto que en un mismo conductor pueden estar conectados aparatos con designaciones diferentes de bornes. Como consecuencia no deben emplearse las designaciones de los bornes para los conductores.

En DIN 72552 están recogidas todas las designaciones de bornes.

Además, en las máquinas eléctricas se pueden utilizar las designaciones de las normas DIN-VDE.

Uniones múltiples de enchufe, para las cuales las designaciones de DIN 72 552 no son suficiente, reciben designaciones de números correlativos o letras, que no representan ninguna función según ninguna norma.

Las designaciones de los bornes, nombrados en la tabla, sólo sirven de ejemplo.

Ejemplos de denominaciones de bornes

Borne	Significado
	Bobina encendido, distribuidor
1	Baja tensión
	Distribuidor con dos circuitos de corriente separados
1a	al ruptor I
1b	al ruptor II
	Bobina de encendido, distribuidor
4	Alta tensión
	Distribuidor con dos circuitos de corriente separados
4a	a la bobina de encendido I
4b	a la bobina de encendido II
15	Polo positivo conmutado detrás de batería (salida interruptor de encendido)
15a	Salida en la resistencia previa hacia la bobina de encendido y el arranque
	Interruptor calefacción arranque
17	Arranque
19	Calentamiento previo
	Batería
30	Entrada directa desde polo positivo de batería
30a	Conmutación de 12/24 V entrada desde batería II polo positivo
31	Circuito de retorno desde batería polo negativo o tierra, directa
31b	Circuito de retorno hacia la batería, polo negativo o tierra a través de interruptor o relé (polo negativo conmutado)
	Relé de conmutación de batería 12/24 V
31a	Circuito de retorno hacia batería II polo negativo
31c	Circuito de retorno hacia batería I polo negativo
	Motores eléctricos
32	Circuito de retorno
33	Conexión principal
33a	Desconexión final
33b	Campo en derivación
33f	Para una segunda etapa menor de revoluciones
33g	Para una tercera etapa menor de revoluciones
33h	Para una cuarta etapa menor de revoluciones
33L	Sentido de giro hacia la izquierda
33R	Sentido de giro hacia la derecha
	Motor de arranque
45	Relé separado de arranque, salida; arranque, entrada (corriente principal)
	Funcionamiento paralelo de dos motores de arranque
	Relé para corriente de engrane
45a	Salida motor de arranque I, Entrada motor de arranque I y II
45b	Salida motor de arranque II
48	Borne en el motor de arranque y en el relé de repetición de arranque para control del proceso de arranque
	Emisor intermitentes (generador de impulsos)
49	Entrada
49a	Salida
49b	Salida segundo circuito intermitentes
49c	Salida tercer circuito intermitentes
	Motor de arranque
50	Regulación directa
	Relé conmutador batería
50a	Salida para regulación del arranque
	Regulación del motor de arranque
50b	en funcionamiento en paralelo de dos motores con regulación en serie
	Relé de arranque para la regulación en serie de la corriente de engrane en funcionamiento en paralelo de dos motores
50c	Entrada en el relé de arranque para el motor I

Borne	Significado
50d	Entrada en el relé de arranque para el motor II
	Relé de bloqueo de arranque
50e	Entrada
50f	Salida
	Relé para repetición del arranque
50g	Entrada
50h	Salida
	Motores de los limpiaparabrisas
53	Motor limpiaparabrisas, entrada (+)
53a	Limpiaparabrisas (+), desconexión final
53b	Limpiaparabrisas (bobina en derivación)
53c	Bomba eléctrica lavado parabrisas
53e	Limpiaparabrisas (bobina de frenado)
53i	Motor limpiaparabrisas con imán permanente y tercera escobilla (para mayor velocidad)
	Luminotecnia
55	Luz faros antiniebla
56	Luz faros
56a	Luces de carretera y control luces carretera
56b	Luces de cruce
56d	Contacto ráfagas luminosas
57a	Luces de estacionamiento
57L	Luces estacionamiento izquierda
57R	Luces estacionamiento derecha
58	Luces de posición, traseras, de iluminación de matrícula y de instrumentos
58L	Izquierda
58R	Derecha, iluminación matrícula
	Generador y regulador
61	Control regulador
B+	Polo positivo batería
B-	Polo negativo batería
D+	Polo positivo alternador
D-	Polo negativo alternador
DF	Campo alternador
DF1	Campo 1 alternador
DF2	Campo 2 alternador
U,V,W	Bornes corriente trifásica
	Técnica acústica
75	Radio, encendedor de cigarrillos
76	Altavoces
	Conmutadores
	Contactos de reposo/conmutación
81	Entrada
81a	1ª salida, lado contacto de reposo
81b	2ª salida, lado contacto de reposo
	Contactos de trabajo
82	Entrada
82a	1ª salida
82b	2ª salida
82z	1ª entrada
82y	2ª entrada
	Contactores de múltiples posiciones
83	Entrada
83a	Salida, posición 1
83b	Salida, posición 2
83L	Salida, posición izquierda
83R	Salida, posición derecha
	Relés corriente
84	Entrada, accionamiento y contacto relés
84a	Salida, accionamiento
84b	Salida, contacto relés
	Relés interruptor
85	Salida, accionamiento (final bobinado polo negativo o tierra)
86	Entrada, accionamiento (comienzo del bobinado)
86a	Comienzo del bobinado o primera vuelta del bobinado
86b	Derivación en la bobina o 2ª vuelta del bobinado
	Contacto de relés con contacto en reposo y de conmutación
87	Entrada
87a	1ª salida (lado contacto en reposo)
87b	2ª salida
87c	3ª salida
87z	1ª entrada
87y	2ª entrada
87x	3ª entrada
	Contacto de relés con contacto de trabajo:
88	Entrada
	Contacto de relé con contacto de trabajo y de conmutación (lado contacto de trabajo):
88a	1ª salida
88b	2ª salida
88c	3ª salida
	Contacto de relé con contacto de trabajo:
88z	1ª entrada
88y	2ª entrada
88x	3ª entrada
	Indicador de giro (emisor intermitentes)
C	1ª lámpara de control
CO	Conexión principal para el circuito de control separado de la intermitencia
C2	2ª lámpara de control
C3	3ª lámpara de control (p.ej. en funcionamiento con remolque)
L	Luces intermitentes izquierda
R	Luces intermitentes derecha

Cálculo de conductores

Magnitudes y unidades

Magnitudes		Unidades
A	Sección del conductor	mm^2
I	Intensidad de corriente	A
l	Longitud del conductor	m
P	Consumo de potencia de los aparatos	W
R	Resistencia (del consumidor)	Ω
S	Densidad de corriente en el conductor	A/mm^2
U_N	Tensión nominal	V
U_{vl}	Caída de tensión admisible del conductor aislado	V
U_{vg}	Caída de tensión admisible en el circuito total	V
ρ	Resistencia eléctrica específica	$\Omega \cdot mm^2/m$

Cálculo

Al fijar la sección del conductor, la caída de tensión y el calentamiento, hay que tener en cuenta:

1. La intensidad de corriente I del aparato consumidor, que se determina por

$$I = P/U_N = U_N/R$$

2. La sección del conductor A con los valores U_{vl} de la tabla 2 (para el cobre $\rho = 0{,}0185\ \Omega \cdot mm^2/m$) que se calcula por

$$A = I \cdot \rho \cdot l/U_{vl}$$

3. Redondear A a la sección inmediata superior de la tabla 1.
No se recomiendan los conductores únicos de menos de 1 mm^2 de sección por su escasa resistencia mecánica.

4. Calcular la caída de tensión real U_{vl}

$$U_{vl} = I \cdot \rho \cdot l/A \text{ y}$$

5. Comprobar la densidad de corriente S para evitar un calentamiento excesivo (para funcionamiento durante corto tiempo $S < 30\ A/mm^2$, los valores para servicio continuo en la tabla 1).

$$S = I/A$$

Tabla 1. Conductores eléctricos de cobre para vehículos
De un solo conductor, sin estañar, aislado con PVC, temperatura de servicio admisible 70 °C[2]

Sección nominal del conductor	Número aproximado de hilos componentes[1]	Resistencia máxima por metro[1] a 20° C	Diámetro máximo del conductor[1]	Espesor nominal del aislamiento[1]	Diámetro exterior máximo del conductor[1]	Corriente larga duración (valor aproximado)[2] admisible a temperatura ambiente	
						+30 °C	A + 50 °C
mm^2		mΩ/m	mm	mm	mm	A	A
1	32	18,5	1,5	0,6	2,7	19	13,5
1,5	30	12,7	1,8	0,6	3,0	24	17,0
2,5	50	7,60	2,2	0,7	3,6	32	22,7
4	56	4,71	2,8	0,8	4,4	42	29,8
6	84	3,14	3,4	0,8	5,0	54	38,3
10	80	1,82	4,5	1,0	6,5	73	51,8
16	126	1,16	6,3	1,0	8,3	98	69,6
25	196	0,743	7,8	1,3	10,4	129	91,6
35	276	0,527	9,0	1,3	11,6	158	112
50	396	0,368	10,5	1,5	13,5	198	140
70	360	0,259	12,5	1,5	15,5	245	174
95	475	0,196	14,8	1,6	18,0	292	207
120	608	0,153	16,5	1,6	19,7	344	244

[1] Según DIN ISO 6722, 3ª parte.
[2] Según DIN VDE 0298, 4ª parte.

Los valores dados en la tabla 2 para U_{vl} sirven para el cálculo del conductor positivo. La caída de tensión del retorno a masa no se tiene en cuenta. No obstante, en un conductor a masa aislado, por regla general, hay que aplicar como longitud del conductor la del mismo y la del retorno.

Los valores dados para U_{vg} son valores de prueba y no pueden aplicarse al cálculo de conductores, porque además de los conductores también comprenden las resistencias de los conmutadores, fusibles, etc.

Observaciones

1. Los tres conductores de mando en lo posible deben ser todos de la misma longitud y resistencia.

2. En casos especiales de conductores principales de arranque muy largos, para reducir más la temperatura límite de arranque, se puede sobrepasar el valor U_{vl} en algunos casos.

3. Si el conductor de retorno de la conducción principal del arranque es aislado, no debería sobrepasar la caída de tensión en él a la del conductor de llegada; en todo caso se permite el 4% de la tensión nominal, y, juntos, el 8%.

4. Los valores U_{vl} son válidos para temperaturas del relé de acoplamiento de 50 a 80 °C.

5. En ciertos casos también hay que tener en cuenta el conductor anterior al interruptor de arranque.

Tabla 2. Caída de tensión admisible

Tipo de conductor	Caída de tensión admisible del conductor posit. U_{vl}		Caída de tensión admis. en la totalidad del circuito U_{vg}		Aclaraciones
Tensión nominal U_N	12 V	24 V	12 V	24 V	
Conductores para iluminación desde borne 30 del interr. de las luces hasta las luces < 15 W hasta el enchufe del remolque desde el enchufe del remolque hasta las luces	0,1 V	0,1 V	0,6 V	0,6 V	Intensidad a tensión y potencia nominales
desde borne 30 del interr. de las luces hasta las luces > 15 W hasta el enchufe del remolque	0,5 V	0,5 V	0,9 V	0,9 V	
desde borne 30 del interr. de las luces hasta los faros	0,3 V	0,3 V	0,6 V	0,6 V	
Conductor de carga desde borne B+ del gener. trifásica hasta batería	0,4 V	0,8 V	–	–	Intensidad a tensión y potencia nominales
Conductores de mando desde el generador trifás. hasta regulador (bornes D+, D–, DF)	0,1 V	0,2 V	–	–	A corrriente excitatriz máxima (Nota 1)
Conductor principal de arranque	0,5 V	1,0 V	–	–	Corr. de cortocirc. del arranque a +20 °C (Notas 2 y 3)
Conducción de mando del arranque desde el interr. arranque hasta relé acoplam. del borne 50 del motor arranque en devanado sencillo	1,4 V	2,0 V	1,7 V	2,5 V	Corriente de mando máxima (Notas 4 y 5)
Relé acoplam. con devanado de embrague y de enclavamiento	1,5 V	2,2 V	1,9 V	2,8 V	
Demás conductores de mando desde interr. hasta relé, bocina, etc.	0,5 V	1,0 V	1,5 V	2,0 V	Intensidad a tensión nominal

Red de a bordo

Suministro eléctrico

La energía eléctrica en el automóvil debe estar disponible de forma que se pueda arrancar el vehículo en cualquier momento, disponer de ella en cantidad suficiente durante la marcha, y también cuando está parado, para accionar diversos aparatos eléctricos durante un tiempo determinado, sin imposibilitar con ello la subsiguiente puesta en marcha. La batería, el motor de arranque, el generador y la instalación eléctrica del vehículo deben guardar relación entre sí y ser apropiados para cada aplicación. Los criterios son: poco peso o poco volumen o poco consumo de combustible. Por regla general, en primer lugar se considera el poco consumo de combustible. Son importantes los siguientes factores influyentes.

Temperatura de arranque

La temperatura a la cual el motor todavía puede ponerse en marcha depende entre otras cosas de la batería (capacidad, resistencia interna, estado de carga, etc.) y del motor de arranque (tamaño, con/sin reductor, excitación: eléctrica/permanente, etc.). Si hay que arrancar el motor, por ejemplo a –20 °C, debe disponerse de mínimo de carga p.

Suministro de corriente del generador

La producción de corriente del generador depende del número de revoluciones. A las revoluciones del ralentí n_L el generador sólo produce una fracción de su corriente nominal. Si la corriente I_V de los aparatos de consumo es mayor que la corriente del generador I_G, por ejemplo con el motor al ralentí, se descarga la batería; la tensión en la red disminuye.

Si la corriente I_V del aparato de consumo es menor que la corriente I_G del generador, entonces una parte de la diferencia de corriente fluye como corriente de batería I_B hacia la batería.

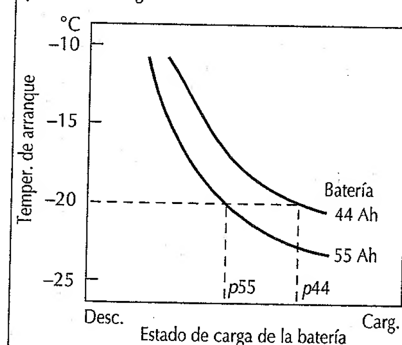
Servicio durante la marcha

El número de revoluciones transmitido al generador depende de la marcha del vehículo. La gráfica de los porcentajes de amplitud de las revoluciones informa de la frecuencia con la que se alcanza o se sobrepasa un número de revoluciones determinado durante la marcha del vehículo.

Un turismo en circulación urbana está gran parte del tiempo con el motor al ralentí a causa de las retenciones del tráfico o de espera en los semáforos. Circulando por autopista la proporción de tiempo al ralentí es pequeña por lo general. En el caso de autobuses de línea hay que añadir a la proporción al ralentí el tiempo en las paradas reglamentarias. Para el estado de carga de la batería actúan desfavorablemente los aparatos consumidores que permanecen conectados con el motor parado (por ejemplo: las paradas de final de recorrido). Los autocares en viajes por carretera, por regla general tienen poca proporción de funcionamiento con el motor al ralentí.

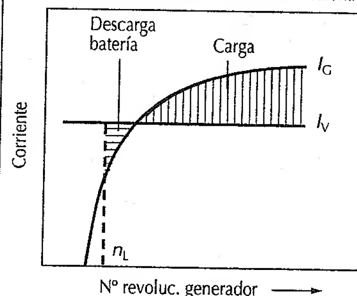
Temperatura de arranque admisible en relación con el estado de carga de la batería

p Estado de carga mínima



Producción de corriente del generador I_g en relación con el número de revoluciones del generador

I_V Corriente de los aparatos consumidores
n_L Número de revoluciones del motor al ralentí



Potencias de los aparatos consumidores

Los aparatos consumidores eléctricos están conectados distintos espacios de tiempo. Se diferencia entre consumidores continuos (encendido, inyección de combustible, etc.), consumidores de larga duración (alumbrado, luneta térmica, etc.) y consumidores de poco tiempo (intermitentes, luces de freno, etc.). La utilización de algunos consumidores eléctricos depende de la estación del año (acondicionador de aire en verano, calefacción de los asientos en invierno). La frecuencia de conexión del ventilador de refrigeración depende de la temperatura y de las condiciones de trabajo. En invierno se va preferentemente con los faros encendidos.

La potencia que necesitan los consumidores no es constante durante un trayecto. En especial en los primeros minutos después de la puesta en marcha, es muy alta (para "calentar" o para "refrigerar"), y luego baja fuertemente:

1. Los catalizadores calentados eléctricamente, en el futuro, requerirán una potencia adicional de 1 a 4 kW para alcanzar la temperatura de trabajo, > 300 °C, en un tiempo de 10 a 30 s después del arranque (depende del tamaño del motor y de la ejecución de la instalación de gases de escape).
2. La bomba secundaria de aire, la cual bombea aire adicional directamente a la cámara de combustión para la combustión posterior de los gases de escape, trabaja hasta 200 s después de la puesta en marcha del motor.
3. Otros consumidores, como p.ej. la calefacción (también la luneta térmica), ventiladores e iluminación, están conectados, según sea el caso, durante períodos mayores o menores de tiempo, mientras que p.ej. el administrador del motor está conectado siempre.

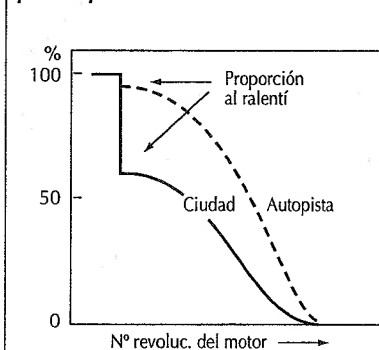
Tensión de carga

La tensión de carga de la batería, teniendo en cuenta los procesos químicos en la misma, en tiempo frío tiene que ser más alta y con calor más baja. La tensión máxima admisible a la cual la batería no "hierva" da la curva de tensión y de gasificación.

Los aparatos consumidores necesitan una tensión lo más constante posible. Para las lámparas de incandescencia, las tolerancias de la tensión tienen que ser limitadas, para que la vida y la intensidad de iluminación permanezcan dentro de unos límites prefijados. El regulador limita el nivel superior de tensión. Influye en el límite de tensión inferior cuando la corriente posible I_G del generador es mayor que la corriente I_V que se necesita para los aparatos consumidores. Los reguladores van incorporados normalmente en el generador.

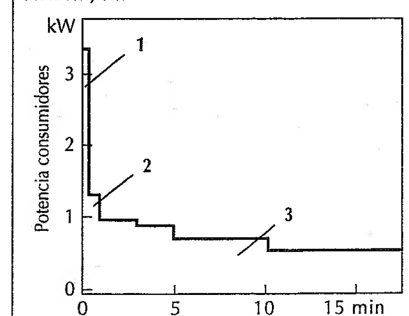
Para diferencias mayores entre la temperatura del regulador y la del ácido de la batería, resulta ventajoso tomar la temperatura para la regulación de tensión directamente de la batería. La caída de tensión en el conductor de carga generador/batería puede ser compensada por un regulador con medición directa del valor real de

Porcentaje de amplitud del número de revoluciones del motor en circulación urbana y por autopista

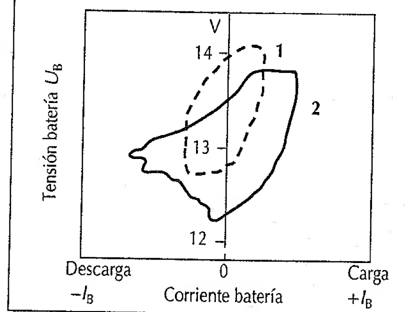


Potencia de consumidores en función del tiempo de marcha

1 *Calefacción del catalizador,* **2** *Bomba de aire secundaria,* **3** *Calefacción, ventiladores, administración del motor, etc.*



Curvas características del sistema dinámico
(Curvas envolventes para circulación urbana)
1 Generador grande y batería pequeña
2 Generador pequeño y batería grande



tensión en la batería (mediante un conductor adicional).

Curva característica del sistema dinámico

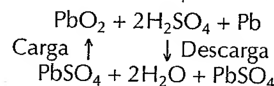
La acción conjunta de los componentes batería, generador, aparatos consumidores, temperatura, número de revoluciones y relación motor/generador, conduce a la curva característica del sistema. Es específica para cada combinación y para cada condición de trabajo y por ello es un dato dinámico. La curva característica del sistema dinámico puede medirse en los bornes de la batería con un registrador xy.

Cálculo del balance de carga

En el cálculo del balance de carga deben tenerse en cuenta las magnitudes influyentes principales. Con ayuda de un programa de ordenador se determina el estado de carga de la batería al final de un ciclo de circulación típico. Un ciclo corriente para turismos es circulación urbana (número de revoluciones bajo), combinada con funcionamiento en invierno (escasa absorción de corriente por la batería). Para vehículos con aire acondicionado (mayor consumo de corriente), el funcionamiento puede ser más desfavorable en verano en ciertos casos. El estado de carga de la batería, al final de un ciclo de conducción debería ser al menos tan alto, que el arranque siguiente fuera posible a la temperatura reinante.

Batería de plomo

Los materiales activos de la batería de plomo son el óxido de plomo (PbO_2) de la placa positiva, el plomo altamente poroso y esponjoso de la placa negativa, y el electrólito de ácido sulfúrico diluido (H_2SO_4). El electrólito es al mismo tiempo conductor de iones durante la carga y descarga. El PbO_2 y el Pb toman potenciales eléctricos típicos de cada electrólito (potencial de electrodo), cuya diferencia da la tensión de la célula medible exteriormente. Su valor es aproximadamente de 2 V en reposo, aumenta en la carga y disminuye en la descarga. En la descarga el PbO_2 y el Pb se transforman con el H_2SO_4 en $PbSO_4$ (sulfato de plomo) con lo que se empobrece el electrolito en SO_4– (iones sulfato) y disminuye la densidad del ácido. En la carga se regeneran los materiales activos PbO_2 y Pb partiendo del $PbSO_4$.



$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb$$
$$\text{Carga} \uparrow \quad \downarrow \text{Descarga}$$
$$PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4$$

Si se continúa cargando después de haberse alcanzado la carga completa, sólo tiene lugar la descomposición electrolítica del agua, con desprendimiento de gas oxhídrico (oxígeno en el polo positivo e hidrógeno en el polo negativo). La densidad del ácido se puede utilizar como medida del estado de carga. Sin embargo, no es segura, pues depende del tipo de construcción (ver tabla con las zonas de dispersión), así como de la formación de distintas capas de ácido y desgaste de la batería con placas sulfatadas parcialmente de forma irreversible y/o fuertemente ensuciadas con lodos.

Comportamiento en tiempo frío

Cuanto más profunda sea la descarga, más diluido estará el ácido. Con ello se eleva el punto de congelación. Una batería con el electrólito congelado sólo da una corriente muy pequeña y no se puede utilizar para el arranque.

Magnitudes características de la batería

Denominación

Además de las características mecánicas como dimensiones, tipo de fijación, tipo de polaridad final, son característicos principalmente los valores eléctricos, que se miden por medio de determinados procedimientos normalizados (por ejemplo, DIN 43 539, parte 2ª). Las baterías de arranque fabricadas en Alemania Federal se denominan según DIN 72 310, 72 311 por un número típico de 5 cifras, la tensión nominal, la capacidad nominal y la corriente de prueba en frío (sólo en las baterías de arranque). Ejemplo: 56 618, 12 V 66 Ah 300 A.

Capacidad

La capacidad es la cantidad de electricidad en Ah que puede ser extraída bajo determinadas condiciones. Disminuye al aumentar la corriente de descarga y descender la temperatura.

Capacidad nominal K_{20}

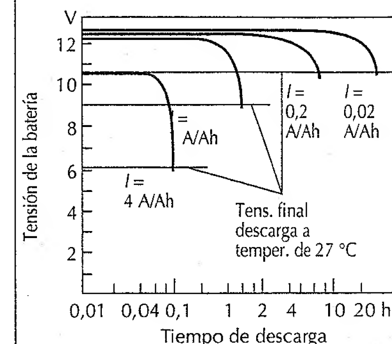
Según DIN se define como la cantidad de electricidad que se puede extraer en 20 h con una corriente constante de descarga hasta llegar a una tensión final de 1,75V/célula. La capacidad nominal depende de la cantidad de material activo introducida (masa positiva y negativa y del ácido), y relativamente poco del número de placas.

Corriente de comprobación en frío I_{kp}

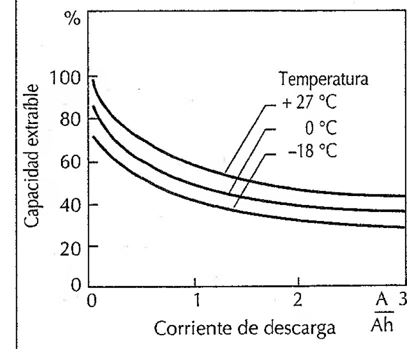
Caracteriza la capacidad de arranque de la batería en tiempo frío. Según DIN la tensión en bornes en la descarga con I_{kp} –18 °C 30 s después del comienzo de la descarga debe ser como mínimo de 1,5 V/célula, y a los 150 s por lo menos de 1 V/célula. Lo decisivo para el comportamiento de corta duración es: el número de placas, la superficie de éstas, las distancias que las separan y el material de los separadores. Otra magnitud característica para el comportamiento en el arranque es la resistencia interna R_i.

Para –18 °C y batería cargada (12V) se tiene: R_i = (2.100 a 2.400V / Ikp (mW), con I_{kp} expresada en A.

Evolución de la tensión de la batería en función del tiempo de descarga para diferentes intensidades de corriente de descarga



Capacidad extraíble en función de la corriente de descarga y la temperatura



Valores del ácido sulfúrico diluido

Estado de carga	Tipo de batería	Densidad del ácido kg/l[1]	Umbral de congelación °C
Cargada	Normal	1,28	–68
	Para Trópicos	1,23	–40
Semicargada	Normal	1,16/1,20(2)	–17...–27
	Para Trópicos	1,13/1,16(2)	–13...–27
Descargada	Normal	1,04/1,12(2)	–3...–11
	Para Trópicos	1,03/1,08(2)	–2...–8

[1] A 20 °C: la densidad del ácido baja al aumentar la temperatura y aumenta al bajar la temperatura en aprox 0,01 kg/l por cada variación de 14 K.

[2] Valor bajo: Alto aprovechamiento del ácido. Valor alto: Bajo aprovechamiento del ácido.

La resistencia interna de la batería determina, junto con las demás resistencias del circuito de la corriente de arranque, la velocidad de giro del motor de arranque.

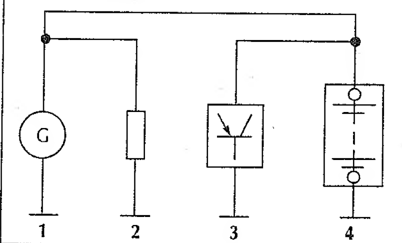
Instalación de la red de a bordo
El tipo de cableado entre el generador, la batería y los aparatos consumidores influye igualmente en el valor de la tensión y éste en el estado de carga de la batería. Si todos los aparatos consumidores van conectados a la batería, fluye por la línea de carga la corriente total $I_G = I_B + I_V$. A causa de la elevada caída de tensión, la tensión de carga se hace menor. Si por el contrario, todos los consumidores están conectados al generador, la caída de tensión es menor y la tensión de carga mayor. Con ello, los aparatos de consumo sensibles a las crestas de tensión o a elevadas variaciones de la misma (electrónicos), resultan desfavorablemente influenciados. Por ello se recomienda que los aparatos de consumo poco sensibles a la tensión y que tengan elevada absorción de potencia se conecten al generador y los aparatos de consumo sensibles a la tensión, con menor absorción de potencia, se conecten a la batería. Unas secciones de conductos apropiadas y buenos empalmes y conexiones, que con el tiempo en servicio no empeoren la resistencia, mantienen pequeñas las caídas de tensión.

Redes de a bordo del futuro
En la red de a bordo de 12 V en vehículos de serie, la batería es un compromiso de requerimientos que, en parte, se contradicen; debe estar dimensionada tanto para el proceso de arranque como también para la alimentación de la red de a bordo. Durante el proceso de arranque la batería ha soportar la carga de corrientes altas (300 a 500 A). La caída de tensión correspondiente tiene un efecto desfavorable sobre determinados consumidores (p.ej. aparatos con microcontroladores). Por el contrario, durante el servicio en marcha, fluyen sólo corrientes reducidas, para las cuales es determinante la capacidad de la batería. Ambas cualidades no se pueden optimizar en una sola batería.

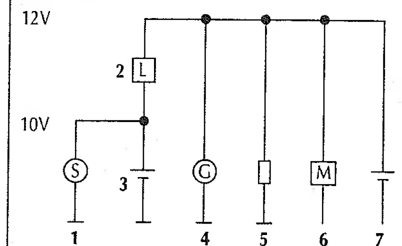
En las instalaciones del futuro de las redes de a bordo se separarán, mediante dos baterías (acumulador para el arranque y batería de alimentación), las funciones "puesta a disposición de una alta potencia para el arranque" y "alimentación de la red de a bordo", para evitar, de esta manera, la caída de tensión en la red de a bordo durante el proceso de arranque y poder garantizar un arranque seguro también con un estado de carga del 30% de la batería de alimentación.

Acumulador de arranque
El acumulador de arranque solamente debe suministrar una corriente alta durante un período de tiempo limitado (proceso de arranque). Porque tiene un volumen reducido, se puede montar cerca del motor de arranque y conectarse a éste a través de un conductor corto. También la capacidad es reducida. Para que esté siempre bien cargado, tiene una tensión nominal de 10 V. La diferencia de tensión a los 12 V permite darle prioridad de carga al acumulador de arranque.

Red de a bordo con conexión de los consumidores al generador y a la batería
1 Generador, 2 Consumidores con mayor absorción de potencia, 3 Consumidores con absorción reducida de potencia, 4 Batería



Red de a bordo del futuro
1 Motor de arranque, 2 Módulo de carga/separación, 3 Acumulador para el arranque, 4 Generador, 5 Consumidores, 6 Administración del motor, 7 Batería de alimentación



Módulo de carga/separación
El módulo de carga/separación separa el motor de arranque y el acumulador del mismo, durante los períodos de tiempo de paro del motor y el proceso de arranque, del resto de la red de a bordo, evitando así la caída de tensión en el proceso la descarga del acumulador de arranque debida a consumidores conectados a motor parado.

Batería de alimentación
La batería de alimentación está prevista únicamente para la red de a bordo (sin motor de arranque). Suministra corrientes relativamente pequeñas (p.ej. 20 A para la administración del motor), pero se le pueden imprimir fuertes ciclos, es decir, que puede suministrar grandes cantidades de energía, con la capacidad correspondiente y grandes profundidades de descarga, y volverlas a acumular. El dimensionado se guía principalmente por la reserva de capacidad para consumidores conectados (p.ej. luces de estacionamiento, intermitentes de alarma), los consumidores de corriente en reposo y la profundidad de descarga admitida.

Etapas de ampliación
Están previstas etapas de ampliación para vehículos con potencias muy altas de consumidores. Las variantes de la red de a bordo pueden ser:
- El acumulador de arranque alimenta la administración del motor, en vez de la batería de alimentación, o bien la instalación se puede conmutar,
- El acumulador también es de 12 V, pero con mayor esfuerzo para alcanzar la prioridad de carga,
- Tensiones nominales > 12 V,
- Redes de varias tensiones, las cuales poseen , paralelamente al circuito de alimentación con +12 V, un circuito con –12 V (ó –24 V), de manera que, para los conductores exteriores de los dos circuitos, estén a disposición de forma adicional 24 V (ó 36 V),
- Utilización de dos generadores.

La ejecución a escoger dependerá de lo que se quiera alcanzar con el concepto de red de a bordo (p.ej. evitar la caída de tensión en el arranque, o reducir el peso o alta seguridad para el arranque).

Consumo de combustible
Una parte pequeña del combustible consumido por el vehículo es para el accionamiento del generador así como para el transporte del peso del motor de arranque, de la batería y del generador (aproximadamente un 5% para un turismo de clase media).
El consumo de combustible promedio en 100 km de recorrido es, para 10 kg de peso, aprox. 0,01 l a lo largo de un trayecto de 100 km ; para 100 W de potencia de accionamiento, aprox. 0,1 l. Los generadores con mayor rendimiento a carga parcial contribuyen por ello, a pesar de su pequeño aumento de peso, al ahorro de combustible.

Consumidores instalados con consideración de la duración de su conexión

Consumidor	Absorción de potencia	Potencia media del consumidor
Motronic, bomba eléctrica de combustible	250 W	250 W
Radio	20 W	20 W
Luces de estacionamiento	8 W	7 W
Luz de cruce	110 W	90 W
Luz de matrícula, luces traseras	30 W	25 W
Luces de control, instrumentos	22 W	20 W
Luneta térmica	200 W	60 W
Calefacción habitáculo, ventiladores	120 W	50 W
Ventilador eléctrico radiador	120 W	30 W
Limpiaparabrisas	50 W	10 W
Luces de freno	42 W	11 W
Intermitentes	42 W	5 W
Faros antiniebla	110 W	20 W
Luz trasera de niebla	21 W	2 W
Suma de la		
Potencia de consumidores instalada	1145 W	
Potencia de consumidores media		600 W

Controller Area Network (CAN)

Para la realización de funciones nuevas en la electrónica de los vehículos, el funcionamiento en conjunto, cada vez más intenso, de los diferentes dispositivos de mando es de especial importancia. El método convencional de organizar este funcionamiento en conjunto consiste en la adjudicación de conductores individuales, concebidos especialmente, hacia las señales. El previsible aumento considerable del intercambio de datos de los componentes electrónicos ya no se puede realizar por tales técnicas de cableados, ya que el mazo de cables, entre otros en los vehículos de clase alta, debido a su volumen ya no puede ser manejado y existirían demasiados conectores en algunos dispositivos de mando. Estos problemas se pueden resolver por medio del empleo de un CAN, un sistema de bus concebido especialmente para su uso en vehículos.

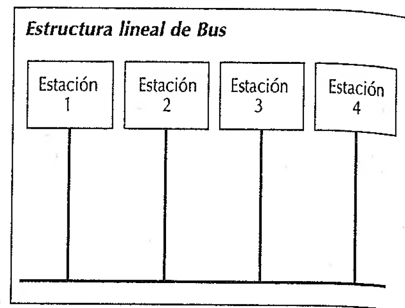
Campos de aplicaciones

Para el uso del CAN en vehículos hay tres campos principales de aplicación:

- Acoplamiento de regulación de aparatos,
- Electrónica de carrocería y de confort (Multiplex),
- Comunicación móvil.

Acoplamiento de dispositivos de mando

En el acoplamiento de dispositivos de mando se conectan entre sí los sistemas electrónicos, como el Motronic, la regulación electrónica del cambio, la regulación electrónica de la potencia del motor (EMS, "E-Gas") y la regulación del deslizamiento en la tracción (ASR). Las cantidades típicas de datos transmitidos se sitúan aprox. entre 125 kBit/s y 1 MBit/s. Deben ser lo suficientemente altas como para poder garantizar el comportamiento exigido en tiempo real. Una ventaja del medio serial de transmisión de datos, en comparación con interfases convencionales como pueden ser las relaciones de palpados, señales de conmutación y señales analógicas, es la mayor velocidad sin gran carga de las unidades centrales (CPU) de los dispositivos de mando. Además se necesitan menos conectores en los dispositivos de mando.



Múltiplex

En el múltiplex puede formarse un gran número de variantes y sistemas parciales. Los componentes electrónicos tales como la regulación de la iluminación, de los asientos, de la climatización y de la unidad de mando, se conectan entre sí mediante una interfase serial. Las cantidades usuales de datos transmitidos es de aprox. 10 a 100 kBit/s.

Un bus múltiplex, en comparación con el mazo convencional de cableado, ahorra una multitud de conductores y enchufes y permite una distribución más flexible del cableado.

Comunicación móvil

En el campo de la comunicación móvil se atiende, p.ej. a través de una unidad central de indicación y del bus serial, a la radio, el teléfono y el dispositivo de navegación o bien se representa la respuesta en un gráfico de color en alta resolución. En ello la meta es ocupar lo menos posible la atención del conductor para las funciones de manejo mediante una configuración ergonómica óptima de esta unidad. Las cantidades requeridas de datos transmitidos abarcan 50 a 100 kBit/s, mientras todavía no deban ser transmitidos datos digitales de audio y de navegación a través de este sistema de bus.

Configuración del Bus

El CAN trabaja según el principio "Multi-Master", puesto que varias unidades de regulación con los mismos niveles de prioridad están conectadas entre sí mediante una estructura lineal de bus. Esta estructura tiene la ventaja que, al fallar un participante, el sistema bus sigue estando completamente a disposición para todos los restantes. En comparación con otras disposiciones lógicas (estructuras en estrella o anulares) se reduce así notablemente la probabilidad de fallo total. En las estructuras anulares y en estrella el fallo de un participante o de la unidad central lleva al fallo de todo el sistema.

Identificación asociativa

En el CAN la identificación se efectúa de forma asociada al mensaje. Para ello se le adjudica a cada mensaje un "identificador" fijo. El identificador marca el contenido del mensaje (p.ej. el número de revoluciones del motor). Una estación evalúa únicamente los datos, cuyo identificador correspondiente está memorizado en una lista de mensajes a aceptar (comprobación de la aceptación). De esta forma el CAN no necesita ningún indicador de estaciones para la transmisión de datos ni los nodos tienen que administrar la configuración del sistema. De esta forma se dominan mejor las variantes de equipamiento.

Estados lógicos de bus

El protocolo del CAN se basa en dos estados lógicos: o bien los bits son "recesivos" (lógicos 1) o bien "dominantes" (lógicos 0). Si un bit dominante es emitido por al menos una estación, entonces los bits recesivos, emitidos simultáneamente por otras estaciones, son recubiertos.

Priorización

El identificador determina simultáneamente, junto con el contenido de datos, la prioridad del mensaje emitido. El mensaje que corresponde a un número binario bajo corresponde a una prioridad alta y al revés.

Adjudicación de bus

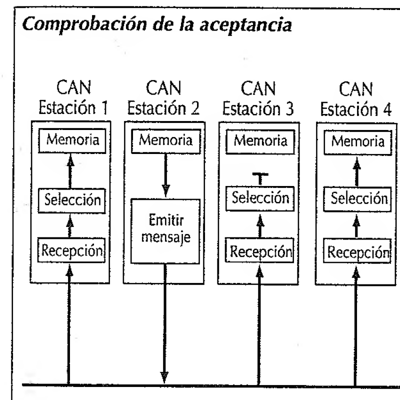
Con un bus libre cada estación puede comenzar a emitir su mensaje más importante. Si varias estaciones comienzan a emitir simultáneamente, entonces se utiliza un esquema de arbitraje "Wired-And" para resolver los conflictos de adjudicación de bus resultantes, imponiéndose el mensaje con la mayor prioridad, sin que se produzca una pérdida de tiempo ni de bits. Cada emisora que pierde el arbitraje se transforma automáticamente en receptora y repite su intento de emisión en cuanto el bus esté libre.

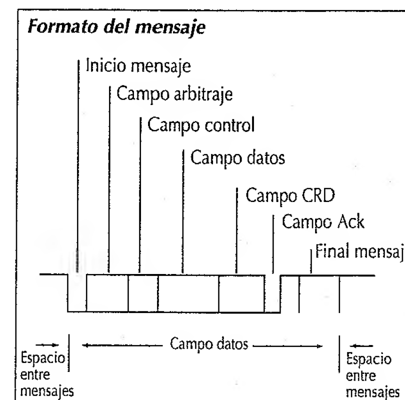
Formato del mensaje

El CAN se basa en dos formatos distintos de mensaje, los cuales únicamente se diferencian en la longitud del identificador (ID). En el formato estándar la longitud del ID es de 11 bits, y en el formato ampliado de 29 bits. Así el marco de formato a transmitir tiene una longitud de máximo 130 bits (formato estándar) o de 150 bits (formato ampliado). Así se asegura que el tiempo de espera para la próxima transmisión, posiblemente muy urgente, sea muy breve. El "Data-Frame" consta de siete campos sucesivos:

"Start of Frame" marca el comienzo de un mensaje y sincroniza todas las estaciones.

"Arbitration Field" consta del identificador del mensaje y un bit adicional de control. Durante la transmisión de este campo la emisora comprueba en cada bit si éste to-





davía tiene derecho a ser emitido o si otra estación con mayor prioridad está transmitiendo. El bit de control decide, si en el mensaje se trata de un "Data Frame" o de un "Remote Frame".
El "Control Field" contiene el código para el número de bytes de datos en el "Data Field".
El "Data Field" dispone de un contenido de información entre 0 y 8 bytes. Un mensaje de longitud 0 puede ser utilizado para la sincronización de procesos distribuidos.
El "CRC Field" contiene una palabra clave de aseguramiento del marco para reconocer eventuales fallos de transmisión.
El "Ack Field" contiene una señal de confirmación de todos los receptores que hayan recibido el mensaje sin errores.
El "End of Frame" marca el final del mensaje.

Iniciativa del emisor

Normalmente la emisora inicia una transmisión de datos enviando un "Data Frame". Pero también existe la posibilidad de que una receptora solicite datos de la emisora. Para ello la receptora debe depositar en la emisora un "Remote Frame". Un "Data Frame" y un "Remote Frame" tienen el mismo identificador. La diferenciación se efectúa mediante el bit que le sigue al identificador.

Reconocimiento de fallos

El CAN dispone de una serie de mecanismos de control para reconocer fallos:
- CRC de 15 bits (Cyclic Redundancy Check): cada receptora compara la secuencia de CRC con la secuencia calculada.
- Monitoring: cada emisora compara los bits emitidos con los detectados.
- Bit Stuffing: en cada "Data Frame" o "Remote Frame" solo un máximo de 5 bits consecutivos puede poseer la misma polaridad entre el "Start of Field" y el final del "CRC Field". Después de cada secuencia de 5 bits iguales consecutivos la emisora introduce en la sucesión de bits uno de polaridad opuesta, volviendo a eliminar las receptoras estos bits después de haber recibido el mensaje.
- Aseguramiento del marco: el protocolo del CAN contiene algunos campos de bits con formato fijo, el cual es comprobado por todas las estaciones.

Tratamiento de los fallos

Si un controlador del CAN detecta un fallo, entonces interrumpe la transmisión mediante un "flag" de error. Un "flag" de error consta de 6 bits dominantes; su efecto se basa en la vulneración expresa de la regla del Stuffing o de las reglas de formato.

Localización de errores en fallos

Las estaciones defectuosas pueden significar una carga considerable para el tráfico en el bus. Por ello los controladores de bus están equipados con mecanismos especiales capaces de diferenciar entre fallos ocasionales y fallos permanentes de una estación. Esto se efectúa mediante una evaluación estadística de situaciones de fallos.

Implementos

Para cumplir con los distintos requerimientos relacionados con el apoyo de la CPU, han salido al mercado, por parte de fabricantes de semiconductores, implementos de diferentes potencias. Los diferentes implementos no se diferencian en cuanto al formato de mensaje producido y el tratamiento de fallos, sino solamente en al apoyo de la CPU responsable de la administración de las señales.

Normalmente los procesadores de los dispositivos de mando llevan mucha carga de trabajo, de manera que un controlador de interfase debe administrar un número mayor de mensajes y llevar a cabo la transmisión de datos sin causar carga a la CPU. Para esto en la mayoría se utilizan controladores de CAN muy potentes.

En el múltiplex y actualmente también en la comunicación móvil, los requerimientos de los controladores son menores. Por ello se prefieren componentes más sencillos y económicos.

Estandarización

El CAN ha sido estandarizado por ISO para el intercambio de datos en vehículos para aplicaciones superiores a 125 kBit/s como ISO 11 898 y para aplicaciones hasta 125 kBit/s como ISO 11 519-2. Ulteriores comités, como p.ej. para el mercado americano de vehículos industriales, también se han decidido por el CAN.

Baterías de arranque

Requerimientos

Los vehículos modernos exigen cada vez más requisitos a la batería de arranque: los motores diesel necesitan más potencia para el arranque en frío (altas corrientes, en especial a temperaturas muy bajas) y los vehículos con equipamiento eléctrico para altas exigencias, grandes cantidades de energía eléctrica durante la marcha y, sin dejarlo de tener en cuenta, en las paradas del vehículo. La carga de la batería se dificulta en trayectos urbanos frecuentes con requerimiento alto simultáneo de corriente eléctrica.

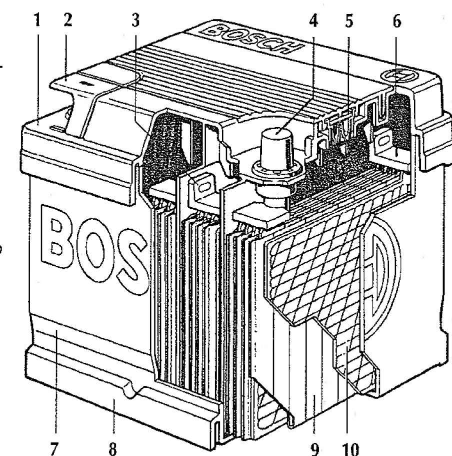
La batería de arranque, en la red de a bordo, tiene la función de acumulador químico de la energía eléctrica producida por el generador. Debe estar pues en condiciones de suministrar, durante breves instantes altas corrientes para el arranque en frío (en especial a temperaturas bajas) también de suministrar parcial o totalmente la energía eléctrica necesaria para otros componentes importantes de la red de a bordo durante las fases de ralentí o de motor parado. Estos requerimientos generalmente son cumplidos por el acumulador de plomo/azufre. Las tensiones típicas en la red de a bordo son 12 V en automóviles y 24 V en vehículos industriales (obtenidos por la conexión en serie de dos baterías de 12 V).

Además de los requisitos de la instalación referentes a la potencia para el arranque, capacidad y absorción de la corriente de carga en el margen de temperaturas entre aprox. –30 °C y +70 °C, hay otras condiciones que deben satisfacerse en determinados casos (ausencia de mantenimiento, resistencia a los golpes, etc.).

Estructura de la batería

Una batería de arranque de 12 V consta de 6 elementos (pilas o células), conectados en serie, incorporados en una caja de polipropileno y separados entre sí por tabiques. Una célula se compone de un juego de placas, una positiva y otra negativa, constituido por las placas (rejilla de plomo y masa activa) así como de material aislante microporoso (separador) entre las placas de distinta polaridad. Como electrólito se utiliza ácido sulfúrico diluido, que llena el espacio libre de la célula y los poros de las placas y los separadores. Los polos terminales, las células y los conectores entre placas son de plomo, los conectores entre células pasan formando junta estanca a través de los tabiques separadores de los vasos. Por arriba la batería va cerrada por la tapa de la caja unida a ésta por medio del procedimiento de sellado en caliente. En las baterías convencionales, cada elemento lleva un tapón que sirve para el llenado inicial, el mantenimiento y la evacuación de los gases de la carga. Las baterías que

Batería de arranque sin mantenimiento
1 *Tapa de la caja*
2 *Cubierta de protección de los polos terminales*
3 *Conector de célula directo*
4 *Polo terminal*
5 *Masa fritada*
6 *Conector de placas*
7 *Caja*
8 *Guías del fondo*
9 *Placas positivas metidas en hojas de plástico separadoras*
10 *Placas negativas*



no precisan de mantenimiento se suministran aparentemente completamente cerradas, pero, sin embargo, también llevan aberturas de evacuación de gases.

Tipos de baterías

Batería sin mantenimiento
Debido a una formación reducida de gases, la batería sin mantenimiento según norma DIN tiene muy poco consumo de agua durante las fases de carga. En la aleación de plomo para las rejillas se ha reducido fuertemente el contenido de antimonio. Así el control del electrólito se limita a

- cada 15 meses o 25000 km en una batería de poco mantenimiento y
- cada 25 meses o 40000 km en una batería sin mantenimiento (según DIN).

La batería absolutamente sin mantenimiento (batería de plomo/calcio) ya no requiere ningún control del nivel de ácido (y generalmente no permite esta posibilidad); está herméticamente cerrada, con excepción de dos orificios de evacuación de gases. En condiciones normales de la red de a bordo (U = constante) la descomposición del agua es tan poca, que la cantidad de electrólito encima de las placas es suficiente para toda la vida de la batería. Además, una batería de plomo/calcio posee la ventaja de una descarga espontánea muy reducida. Esto permite un almacenamiento durante meses con un estado inicial de carga plena. Si una batería sin mantenimiento se carga fuera de la red de a bordo, la tensión de carga por elemento no debe sobrepasar los 2,3 a 2,4 V, porque una sobrecarga con corriente continua o con un cargador con curva característica W produce forzosamente, en todos los acumuladores de plomo, un elevado consumo de agua.

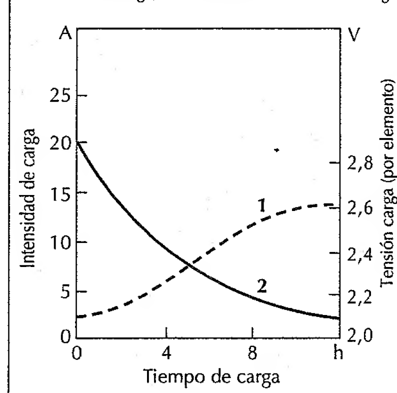
Batería resistente a los ciclos repetidos
Las baterías de arranque, por su construcción (grueso de las placas, material de los separadores), sólo resultan apropiadas para aplicaciones condicionadas con profundas descargas repetidas, ya que con ello se produce un gran desgaste de las placas positivas (especialmente por el desmoronamiento y precipitación de la masa activa). En las baterías resistentes a los ciclos repetidos la masa positiva de los separadores viene reforzada con lana de vidrio y con ello se impide la precipitación prematura. La vida, expresada en ciclos de carga y descarga, es aproximadamente el doble que en las baterías corrientes.

Batería resistente a las vibraciones
En las baterías resistentes a los golpes los bloques de placas se fijan con resinas coladas o plástico para impedir los movimientos relativos con respecto a la caja. DIN prescribe que debe resistir una prueba de sacudidas vibratorias sinusoidales durante 20 horas a 22 Hz y una aceleración máxima de 6 g en sentido vertical. Esta exigencia es unas diez veces superior a la fijada para las baterías corrientes. Las baterías resistentes a los golpes se instalan principalmente en vehículos industriales, maquinaria de construcción, tractores, etc. Se caracterizan con las letras "Rf".

Baterías HD
Combinación de batería resistente a los ciclos repetidos y a los golpes. De utilidad en vehículos industriales en los que se ven sometidas a sacudidas y cargas cíclicas. Denominación "HD".

Baterías "Kt"
En su estructura la batería "Kt" tiene la misma estructura que la batería resistente a los golpes, excepto que dispone de placas más gruesas y por ello menos numerosas. Para la batería "Kt" no se indica ninguna corriente de ensayo en frío; su potencia de arranque es claramente inferior

Carga de la batería: curva característica W
1 *Tensión de carga,* **2** *Intensidad de corriente de carga*



(un 35 a 40%) a la de las baterías de arranque del mismo tamaño. Su utilización se efectúa en casos de carga cíclica muy alta, en parte también para fines de tracción (pág. 545, "Batería de plomo/ácido").

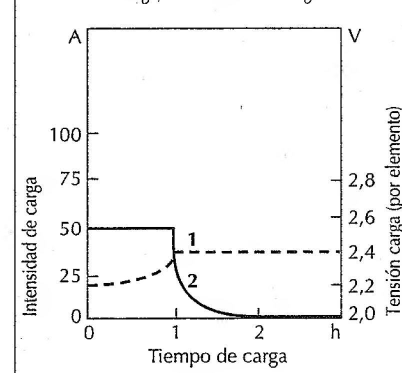
Estados de servicio

Carga
En la instalación eléctrica del automóvil se carga la batería con limitación de tensión; esto corresponde al método de carga denominado IU. La corriente de carga retrocede automáticamente tan pronto como uno o ambos electrodos están al completo.

Con ello se impide una sobrecarga perjudicial y se asegura una larga vida de la batería. Los cargadores de taller o los domésticos de usuarios trabajan por el contrario en parte a intensidad constante o según una curva característica W. En ambos casos aun después de alcanzar el estado de plena carga continúa la carga con una intensidad constante o sólo escasamente reducida, lo cual provoca un elevado consumo de agua y la corrosión de la rejilla positiva.

Descarga
Poco tiempo después del inicio de la descarga baja la tensión de la batería a un valor que sólo varia con relativa lentitud si continúa descargándose. Sólo inmediatamente antes del final de la descarga, por el agotamiento de uno o varios de los componentes activos - masa positiva, masa negativa y ácido - se colapsa rápidamente la tensión.

Carga de la batería: curva característica IU
1 *Tensión de carga,* **2** *Intensidad de carga*



Descarga espontánea (ver también Cuidados de la batería)
Las baterías se descargan en el transcurso del tiempo, aun cuando no se las someta a carga de trabajo. Las baterías modernas con poco o nada de antimonio, a temperatura ambiente pierden diariamente aprox. el 0,1 al 0,2% de su carga. Al aumentar la edad de la batería este valor puede llegar al 1% al día o más y finalmente al fallo de batería, por migración del antimonio a la placa negativa y por impurezas varias. Una regla aproximada para la influencia de la temperatura es que por cada 10 °C de incremento de temperatura se duplica la descarga espontánea.

Las baterías de plomo/calcio tienen una descarga espontánea cinco veces menor, que además es constante durante toda la vida de la batería.

Cuidados de la batería

En las baterías de poco mantenimiento debería comprobarse el estado del electrólito una vez al año o cada 25 000 km y en caso necesario reponerlo con agua destilada hasta la marca máxima indicada por el fabricante de la batería. Al objeto de una menor descarga espontánea hay que mantener la batería limpia y seca. Antes de la llegada de la temporada fría del año se recomienda también el control del estado de carga por medición de la densidad del ácido o, si no es posible, por medición de la tensión en circuito abierto. Si la densidad del ácido está por debajo de 1,20 g/ml o la tensión en circuito abierto es de menos de 12,2 V, hay que recargar la batería. Los polos terminales, los bornes de conexión y las piezas de fijación hay que engrasarlos con grasa protectora contra el ácido.

Las baterías que se retiran de servicio temporalmente, deben guardarse en un lugar fresco y seco. La densidad del ácido o la tensión en circuito abierto deben comprobarse cada 3 a 4 meses y cuando los valores estén por debajo de 1,20 g/ml o de 12,2V, hay que recargarla. Al cargar hay que conectar el polo positivo de la batería al positivo del cargador, y el negativo de la batería al negativo del cargador. Para las baterías de poco mantenimiento o sin mantenimiento, lo más apropiado es la carga IU con una tensión máxima de 14,4V, ya que con esto se les puede aplicar un tiempo de

carga de, por ejemplo, 24 h para lograr una carga completa segura, sin riesgo de sobrecarga. Si se carga a intensidades de corriente constante o con curva característica W, la intensidad de corriente al hacerse visible el desprendimiento de gas no debería ser mayor que 1/10 de la capacidad nominal en A; p.ej., 6,6 A para una batería de 66 Ah. Luego (después de aproximadamente 1 h) hay que desconectar la carga. La habitación en que se realiza la carga ha de estar ventilada (formación de gas oxhídrico, peligro de explosión, no puede haber ninguna llama abierta, cuidado con la formación de chispas).

Fallos de la batería

Los fallos de funcionamiento, cuyas causas residen en el interior de la batería (por ejemplo, cortocircuitos por desgaste de los separadores o pérdida de masa activa, interrupción de conectores de elementos o de placas entre otros) no se suelen solucionar reparando la batería sino cambiándola por otra nueva. Una señal característica de cortocircuitos interiores son los valores de densidad del ácido muy variables de elemento a elemento (diferencia entre el mínimo y el máximo > 0,03 g/ml). Cuando hay una interrupción en los conectores se puede cargar y también descargar la batería generalmente con una intensidad de corriente pequeña, pero en el arranque, incluso estando completamente cargada, la tensión baja de golpe.

Si no se encuentra ningún defecto en la batería, pero a pesar de ello está siempre muy descargada (señales características: baja densidad del ácido en todos los elementos, no tiene fuerza para el arranque), o muy cargada (señal característica elevado consumo de agua), es que hay algún defecto en la instalación eléctrica (generador defectuoso, consumo eléctrico con el motor parado, por ejemplo, porque se queda pegado un relé, regulador del generador graduado demasiado alto o demasiado bajo o no trabaja). En las baterías que permanecen mucho tiempo muy descargadas, aumentan de tamaño los cristales de $PbSO_4$ de la masa activa, con lo que se dificulta la renovación de la carga. Para regenerarlas hay que cargarlas durante aproximadamente 50 h con poca intensidad (aprox. 1/40 de la capacidad nominal en A).

Indicaciones de seguridad

Manejo

Antes del montaje o desmontaje de una batería de arranque deberían tenerse en cuenta las instrucciones de servicio para evitar riesgos por manejo indebido. Los peligros surgen del ácido sulfúrico y el gas oxhídrico (mezcla entre el hidrógeno y el oxígeno) que se forma durante la carga de la batería: una inclinación prolongada de la batería o el descuido del correcto nivel de ácido pueden causar cauterizaciones por ácido sulfúrico. También se recomienda tener especial cuidado con la explosión del gas oxhídrico durante o inmediatamente después de la carga, así como también en la conexión o desconexión de un cable de ayuda de arranque.

Mientras se eviten fuego abierto o formación de chispas, se reduce notablemente el peligro de explosión del gas oxhídrico incluso en el caso de circuitos eléctricos súbitamente interrumpidos o cortocircuitados, pero sin eliminar dicho peligro del todo. Por lo expuesto se recomienda ventilar muy bien los lugares donde se efectúa la carga y llevar puestos guantes y gafas protectores durante el manejo de baterías.

Para evitar la formación de chispas durante la conexión y desconexión de la batería, hay que desconectar los consumidores eléctricos y tener en cuenta el orden sucesivo de efectuar los contactos. De ello resultan las siguientes reglas:

- Al montar la batería, conectar primero el conductor positivo y después el negativo. Al desmontar, quitar primero el conductor negativo y después el positivo (si el negativo está conectado a tierra).
- Para la carga con un cargador, o en el caso de "ayuda de arranque" con una segunda batería, conectar siempre el polo positivo de la batería a cargar con el polo positivo de la fuente externa de corriente, y el polo negativo del cargador o de la batería de ayuda de arranque a un lugar de metal visto del vehículo, a una distancia mínima de 0,50 m.
- Antes de comenzar trabajos en la instalación eléctrica del vehículo o cerca de la batería, hay que quitar el cable a tierra, puesto que los cortocircuitos (con las herramientas) producen chispas y pueden haber heridas por quemaduras.

Comprobación de baterías de arranque

DIN 43 539 determina las magnitudes características y los métodos de comprobación para las baterías de arranque. Estas comprobaciones son apropiadas para la determinación e inspección de la calidad de baterías de arranque nuevas, pero no pretende en absoluto la plena coincidencia con las múltiples solicitaciones de la práctica.

La capacidad nominal K_{20} es la cantidad de electricidad asignada a una batería expresada en amperios hora (A · h). Esta cantidad de electricidad debe poderse desprender con una corriente predeterminada I_{20} (corriente nominal de descarga) en 20 h hasta la tensión final de descarga predeterminada 10,5 V a 27 °C. La corriente nominal de descarga I_{20} es la asignada a la capacidad nominal y que la batería ha de suministrar durante el tiempo predeterminado de descarga: $I_{20} = K_{20}/20$ h.

La corriente de ensayo en frío es una intensidad de corriente de descarga alta asignada al tipo de batería y que sirve principalmente para la evaluación del comportamiento de arranque a temperaturas bajas y en condiciones predeterminadas de descarga. En el ensayo de arranque en frío se realiza una descarga con corriente de ensayo en frío asignada a una temperatura inicial de la batería de (– 18 ± 1 °C) hasta una tensión de descarga de 6 V.

Cargadores de baterías

Curvas características de carga

El tipo más corriente es la carga según la curva característica W. Se trata en este caso de aparatos casi siempre sin regulación. La corriente de carga debido a la resistencia interna del cargador, desciende continuamente al ascender la tensión de la batería (tiempos de carga de 12 a 14 horas).

Para baterías sin mantenimiento estos aparatos sólo son apropiados condicionalmente, por la falta de limitación de la tensión de carga. Para estas lo mejor es utilizar cargadores que trabajen según las curvas características IU o WU. En la carga según la curva característica IU la batería se carga a intensidad constante hasta la tensión de formación de gas de la batería de plomo (2,4 V/elemento) (protección del dispositivo contra sobrecarga). Después permanece constante la tensión de carga (protección de la batería contra sobrecarga) y la intensidad se reduce fuertemente. Con una intensidad de carga suficientemente alta inicialmente, se pueden conseguir tiempos de carga de menos de 5 horas con cargadores IU.

Tanto las curvas características IU como las W transcurren de modos especiales (por ejemplo, Wa, WoW, IUw, etc.). Según estas curvas características adicionales se pueden cumplir determinadas exigencias de tiempo de carga/proporción de carga y ausencia de mantenimiento.

Regulación de la intensidad y de la tensión de carga

En los cargadores regulados (por ejemplo, según la curva característica IU), los valores reales momentáneos de la intensidad de carga y de la tensión de carga (en su caso, también la temperatura) se envían a un regulador que los compara con los nominales específicos de la batería regula con un elemento de ajuste que anula las diferencias. En los cargadores regulados se ajustan las variaciones de la intensidad de carga, que de lo contrario serían frecuentes por las variaciones de la tensión de la red y otras. Esto redunda en beneficio de una vida más larga de la batería e influye también positivamente en los intervalos de mantenimiento.

Corriente de carga

En condiciones normales se carga la batería con una intensidad de corriente que es aproximadamente el 10% del valor numérico de su capacidad (Ah). El tiempo hasta la carga completa asciende a varias horas. Mediante cargas rápidas ($I_L = 5 \cdot I_5$) las baterías descargadas pueden cargarse hasta aprox. el 80 % de su capacidad nominal sin resultar dañadas. Al llegar a la tensión a que se desprenden gases, la corriente de carga debe o bien desconectarse (p.ej. con curva característica Wa) o pasar a un valor más bajo (p.ej., IU). La desconexión o reducción se realiza por medio de un limitador regulable del tiempo de carga o por un automatismo de desconexión. Aplicando conexiones electrónicas de supervisión especiales puede determinarse también el estado de plena carga junto con el tiempo de carga (con la sobrecarga empieza a bajar de nuevo la tensión de batería).

Alternador trifásico

Producción de corriente

El alternador trifásico suministra suficiente corriente a la instalación eléctrica del automóvil a cualquier número de revoluciones que se lleve en la marcha, con lo cual se asegura que el acumulador de energía, la batería, siempre está suficientemente cargada. El objetivo es el balance de carga compensado, es decir que el generador, de acuerdo con su curva característica y la distribución de la frecuencia de los números de revoluciones, debe producir en la práctica, como mínimo, la energía que consumen todos los consumidores durante el mismo tiempo.

Los alternadores producen corriente alterna, pero la electricidad del automóvil tiene que ser de corriente continua para recargar la batería y para accionar los aparatos y grupos electrónicos. Como consecuencia de ello en la instalación eléctrica del automóvil debe disponerse de corriente continua. Las principales especificaciones son:

- Alimentación de corriente continua a todos los aparatos consumidores conectados.
- Reserva de potencia adicional para una carga rápida de la batería, aun con aparatos conectados permanentemente, y a las pocas revoluciones del motor al ralentí.
- Mantenimiento constante de la tensión del generador en todo el campo de revoluciones del motor del vehículo.
- Construcción robusta que resista todas las solicitaciones externas causadas por vibraciones, cambios de temperatura, suciedad, humedad, combustibles y lubricantes.
- Poco peso y dimensiones adecuadas para su montaje.
- Escaso ruido y
- Rendimiento favorable.

Magnitudes de influencia

Número de revoluciones

El rendimiento de un generador (es decir, la potencia generada por kilogramo de masa de los componentes activos) crece al aumentar el número de revoluciones. Bajo este punto de vista se procura alcanzar la mayor relación posible de transmisión entre el cigüeñal del motor de combustión y el generador.

Factores de limitantes:

- Fuerzas centrífugas a revoluciones elevadas del motor.
- Ruido del generador y del ventilador,
- Rendimiento decreciente al aumentar las revoluciones,
- Efectos negativos de las revoluciones sobre la vida útil de los componentes sujetos a desgaste (cojinetes, aros rozantes, escobillas de carbón),
- Par de inercia de las masas del generador respecto al cigüeñal y la solicitación así provocada en las correas de accionamiento.

Los valores típicos en los automóviles están entre 1 : 2 y 1 : 3; en los vehículos industriales hasta 1 : 5.

Temperaturas

Las pérdidas que se producen en toda máquina que transforma energía, provocan elevación de temperatura en los componentes. Debido a la potencia creciente del ventilador al aumentar el número de revoluciones pero no aumentar ya la cantidad de corriente, resultan puntas de temperaturas más o menos pronunciadas en el intervalo de revoluciones del generador hasta aprox 4000 min^{-1}.

Según sea su montaje en el motor, algunos componentes (instalación de tubos de escape o compresores turbo de gases de escape) producen adicionalmente en el generador altas temperaturas por radiación, normalmente de forma típica a altas revoluciones y carga plena del motor (marcha en caliente). El aire refrigerante se aspira casi siempre del espacio del motor.

Para reducir las temperaturas de los componentes y mejorar el rendimiento del motor, es una buena medida el prever pasos de aire por los espacios de inmovilización del motor.

Influencias externas

Por el montaje del generador en el motor de combustión se producen elevadas cargas. Según las condiciones de instalación y de característica de vibraciones, se pueden presentar aceleraciones de oscilaciones de 500 a 800 $m \cdot s^{-2}$. Por ello las piezas de fijación y todas las piezas del generador quedan altamente solicitadas y deben dominarse por medio de medidas apropiadas. Por todos los medios hay que evitar resonancias críticas.

Otras influencias externas son el agua, la suciedad, y en parte, las nieblas de aceite o de combustible; en invierno influye además la sal que se esparce por la calzada. Estas influencias someten a corrosión a todas las piezas. Es importante que no se formen vías de dispersión de la corriente para que las piezas de importancia funcional no se estropeen por electrólisis antes de tiempo.

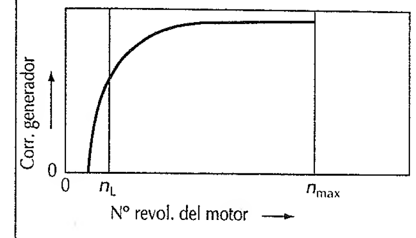
Características y funcionamiento

Los alternadores trifásicos para automóviles son para tensiones de carga de 14 V (ó 28 V para los vehículos industriales), para que las baterías de 12 V (o de 24 V) se puedan cargar suficientemente.

Puesto que la carga del acumulador precisa de corriente continua, un rectificador tiene que rectificar la corriente alterna trifásica. Esta disposición impide además la descarga de la batería con el vehículo parado. El relé adicional necesario en los generadores de corriente continua, se omite aquí.

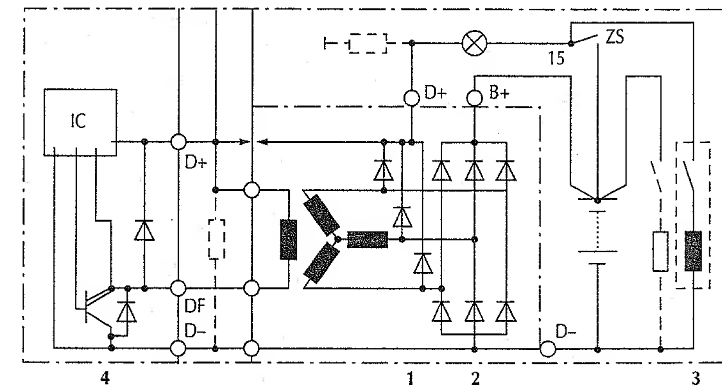
La curva característica de la corriente es ascendente pero a elevado número de revoluciones deja de ascender por la acción del campo magnético contrario originado por la intensidad de la carga. Esto tiene la ventaja, de que incluso en el caso de una sobrecarga no pueda salir ninguna corriente mayor del generador, con lo cual queda protegido contra sobrecargas.

Corriente del generador en función del número de revoluciones del motor
(a tensión constante)
n_L Número de revoluciones al ralentí, n_{max} Número de revoluciones máximo



Los alternadores trifásicos son generadores sincrónicos de 12 polos autoexcitados. En las ranuras del estátor va el devanado de corriente trifásica, y en el rotor el de excitación. A través del devanado de excitación fluye corriente continua, la cual es transmitida al rotor en rotación mediante anillos y contactos rozantes. La corriente generada en el devanado trifásico se bifurca: una parte circula como corriente de excitación por los 3 diodos de excitación, hacia el borne D+ y por los contactos rozantes, el regulador y el anillo rozante al devanado de campo, con forma de anillo, y vuelve por los 3 diodos nega-

Alternador trifásico con regulador *(circuito)*
1 *Diodos de excitación,* **2** *Diodos de potencia (alternativamente diodos de potencia Zener),* **3** *Red de a bordo,* **4** *Regulador*



tivos del puente principal. La parte principal de la corriente generada pasa por los diodos positivos del puente rectificador principal a la instalación del automóvil y regresa igualmente pasando por los diodos negativos.

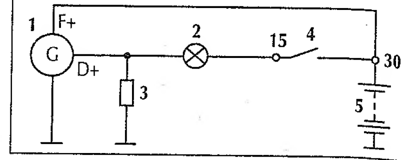
La conexión D+ tiene varias funciones: por un lado se efectúa la excitación previa del generador desde la conexión B+ de la batería a través de la lámpara de control del generador y el borne D+. Por otro, después de la excitación, el borne D+ queda a un nivel de tensión similar a B+; determinados grupos de consumidores pueden ser alimentados a través de un relé.

La lámpara de control del generador debe ser de una potencia determinada para que quede asegurada la excitación del generador después del arranque del motor (con lámparas de 1,2 W a 12 V debe conectarse una resistencia en paralelo). El número de revoluciones de comienzo de servicio se diferencia mucho del número de revoluciones de "0 Amperios" y depende fuertemente de la potencia del circuito de excitación previa.

Una interrupción en el circuito de excitación durante el funcionamiento viene indicada por la lámpara si entre ésta y tierra se conecta una resistencia (aprox. de 68 ohm, lo más cerca posible de la lámpara). La lámpara de control debe encenderse al

Circuito con indicador de avería al interrumpirse el circuito de excitación

1 Generador, 2 Lámpara de control del generador, 3 Resistencia R, 4 Conmutador del encendido o de marcha, 5 Batería



dar contacto al encendido antes del arranque (control luminoso) y apagarse cuando el motor llega a velocidad de régimen.

La conexión D+ sólo se puede cargar con la corriente del regulador, la de la lámpara de control del generador y una corriente adicional de 0,2 A.

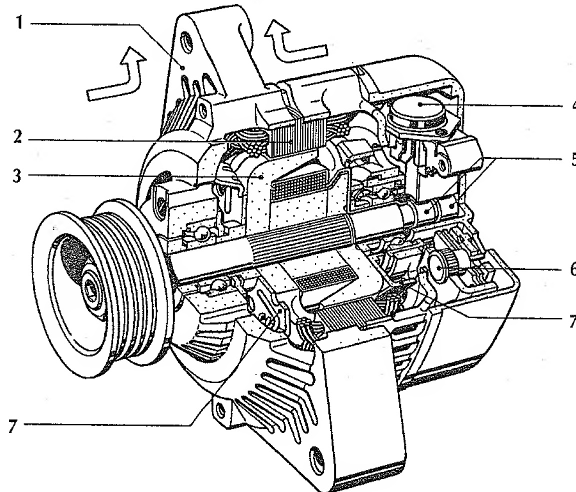
Variantes

Alternador de polos intercalados

Este principio de máquina conocido ya desde hace mucho tiempo ha desplazado totalmente a los primitivos generadores de corriente continua, porque a igualdad de potencia el alternador de polos intercalados pesa menos del 50 %. Su introducción en serie sólo fue posible cuando se fabricaron diodos de silicio pequeños, potentes, de costes favorables y de fiabilidad suficiente.

Generador compacto

1 Armazón,
2 Estátor,
3 Rotor,
4 Regulador electrónico de campo con portaescobillas,
5 Anillos rozantes,
6 Rectificador,
7 Ventilador

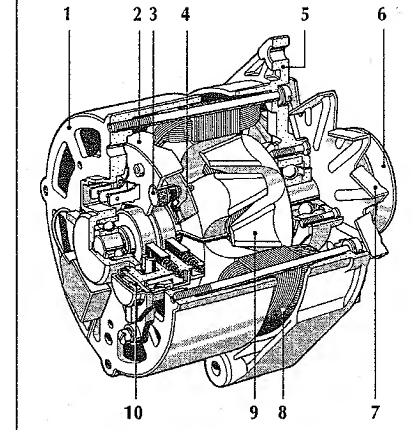


Los flujos de dispersión entre los polos limitan, en este principio de generador con diámetro predeterminado, su longitud y con ello su potencia. En casos singulares pueden montarse dos dentro de un mismo armazón. Los estatores están conectados en paralelo en el lado de la corriente trifásica y trabajan sobre un rectificador común.

Característica principal del modelo clásico es la ventilación de un solo flujo axial mediante un ventilador único exterior.

Alternador de polos intercalados

1 Tapa cojinete lado de anillos rozantes, 2 Cuerpo refrigerador del rectificador, 3 Diodo de potencia, 4 Diodo de excitación, 5 Tapa cojinete del lado de accionamiento con brida de fijación, 6 Polea acanalada, 7 Ventilador exterior, 8 Estátor, 9 Rotor con polos intercalados, 10 Regulador transistorizado



Generador compacto

El generador compacto es una nueva versión del generador de polos intercalados, basado en una ventilación de dos flujos mediante dos ventiladores montados en el interior. El aire de refrigeración es aspirado axialmente y expulsado radialmente en campo de los cabezales de bobinado del estátor, así como en las tapas de los cojinete de accionamiento y de los anillos rozantes. Las ventajas principales del generador compacto son:

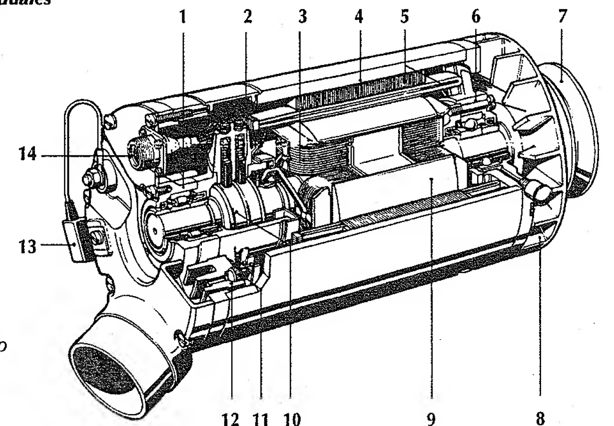
- Mejor aprovechamiento por la posibilidad de un mayor número máximo de revoluciones,
- Ruido aerodinámico reducido por el menor diámetro de los ventiladores y
- Mayor vida útil de las escobillas de carbón.

Alternador de polos individuales

Para casos especiales con necesidades de potencia elevada (por ejemplo, autocares) es preciso instalar alternadores de polos individuales. El rotor tiene polos magnéticos individuales equipado cada

Alternador de polos individuales

1 Tapa lado anillos rozantes
2 Escobillas
3 Devanado de excitación
4 Carcasa
5 Paquete del estátor con devanado
6 Tapa lado accionamiento polos individuales
7 Polea acanalada
8 Ventilador radial
9 Rotor de polo saliente
10 Anillos rozantes
11 Diodo de potencia
12 Cuerpo refrigerador
13 Condensador antiparasitario
14 Enchufe insertable para el conductor de unión al regulador



uno con un devanado de campo. Este tipo constructivo permite una longitud más grande del estátor (en relación a su diámetro) que en el caso del alternador de polos intercalados. Así se pueden realizar potencias mayores con un mismo diámetro. Debido a la corriente de excitación notablemente mayor que en el alternador de polos intercalados, el regulador electrónico se monta alejado del generador en un alojamiento aparte.

Alternador con rotor-guía

Los alternadores con rotor-guía son una forma especial de los alternadores de polos intercalados, en los cuales sólo giran los polos mientras que el devanado de excitación con piezas conductoras anulares, para el flujo magnético, está fijo. En este tipo, el devanado de excitación puede alimentarse directamente del rectificador, a través del regulador (los anillos rozantes y las escobillas no son necesarios). Con ello se producen alternadores de vida más larga, tal como se necesita, por ejemplo, en las máquinas para la construcción o en los alternadores para ferrocarriles. El peso, a igualdad de potencia, es algo mayor que en los alternadores de polos intercalados porque el flujo magnético debe ser transmitido a través de dos entrehierros adicionales, lo que hace que haya más cantidad de hierro.

Condiciones marginales para las aplicaciones

Refrigeración

Los alternadores trifásicos de automóviles están provistos generalmente de un ventilador radial pequeño incorporado, que proporciona aire de refrigeración (tipo de construcción abierta). Con temperaturas muy altas en el compartimiento del motor puede resultar ventajosa la aspiración de aire fresco. La capacidad de refrigeración debe ser concebida de manera que la temperatura de los componentes, bajo todas las condiciones marginales posibles, no sobrepase unos valores límite específicos.

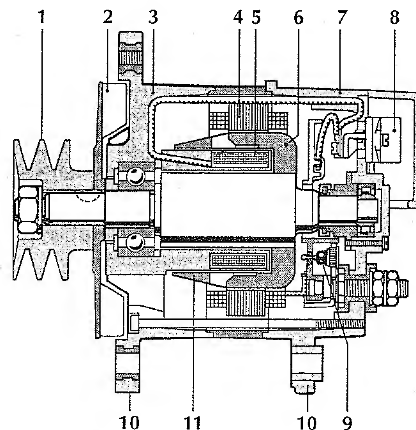
En los alternadores para vehículos industriales es corriente blindar el espacio de los anillos rozantes y de las escobillas contra el polvo y la suciedad. La aspiración de aire fresco es casi siempre adecuada. En tractores y vehículos que circulan por vías se utilizan alternadores cerrados con nervios de refrigeración para la refrigeración superficial. En casos especiales son necesarios alternadores cerrados refrigerados por líquidos (p.ej. aceite).

Montaje

Casi todos los alternadores, que van accionados por correas trapezoidales normalizadas desde el motor de combustión, están montados en dispositivos de sujeción basculantes alrededor de un brazo de modo que resulta posible el tensado de la correa.

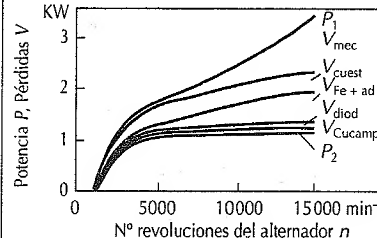
Alternador con rotor-guía

1 *Polea acanalada,*
2 *Ventilador,*
3 *Tapa de cojinete de accionamiento con polo interior fijo,*
4 *Estátor,*
5 *Devanado de excitación fijo,*
6 *Rotor-guía,*
7 *Tapa de cojinete posterior,*
8 *Regulador,*
9 *Diodo de potencia,*
10 *Brazos basculantes,*
11 *Guía*



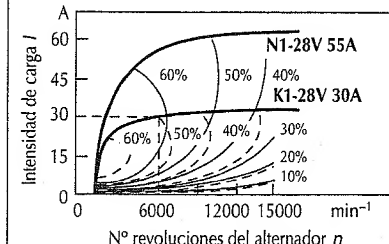
Reparto de las pérdidas de un alternador trifásico

P_1 Potencia absorbida, P_2 Potencia cedida
V_{mec} Rozamiento del aire y de los cojinetes
V_{cuest} Pérdidas en el cobre del estátor
V_{Fe+ad} Pérdidas en el hierro y adicionales
V_{diod} Pérdidas en el rectificador
V_{Cucamp} Pérdidas en la excitación



Diagramas característicos de rendimiento para alternadores de los tamaños K1-28V30A y N1-28V55A

Ejemplo para el rendimiento a carga parcial:
$I = 30$ A, $U = 28$ V, $n = 6000$ min^{-1},
$\eta_{K1} = 50\%$ con un peos de 5 kg,
$\eta_{N1} = 62\%$ con un peso de 6,15 Kg



En el caso de correas trapezoidales con dentado interior ("correas poli-V") normalmente el generador está montado fijo y el tensado de la correa se efectúa con un tensor separado de correa. En casos especiales, los alternadores van fijados directamente al motor en una escotadura en forma de caballete. El dimensionado del cojinete de bolas en el lado del accionamiento de un generador se determina principalmente por las solicitaciones de la correa. Las fuerzas de la correa resultan de la geometría del accionamiento por dicha correa y del requerimiento de potencia de todos los dispositivos accionados por la misma. Otro factor importante de influencia es el alcance de la polea, la cual puede tener un brazo de palanca notable entre el punto de ataque de la carga de la polea y la posición del cojinete de bolas en el lado de accionamiento. Un ulterior factor de influencia son las fuerzas dinámicas provocadas por las variaciones del par de giro y, con ello, del número de revoluciones, aparte de las fuerzas estáticas. Estas influencias hay que tenerlas en cuenta a la hora de dimensionar suficientemente el cojinete de bolas y las comprobaciones del generador.

Accionamiento

Además del accionamiento más utilizado por correas trapezoidales normalizadas también se emplean correas trapezoidales con dentado interior. El menor radio de flexión, posible en este caso, permite el uso de poleas menores en el generador, y con ello relaciones mayores de transmisión. Los alternadores para trenes son accionados directamente desde el eje de la rueda por medio de un engranaje helicoidal. En el caso de accionamiento central por el motor de combustión, hay que tomar medidas para evitar las vibraciones de torsión.

Rendimientos

En la transformación de energía mecánica en energía eléctrica las pérdidas son inevitables. El rendimiento es la relación entre la potencia eléctrica generada y la mecánica aportada. Las proporciones principales de pérdidas son las "pérdidas en el hierro", las "pérdidas en el cobre" y las pérdidas mecánicas. Las "perdidas en el hierro" se originan a causa del cambio del campo magnético en el hierro del estátor y del rotor por efectos de histéresis y corrientes parásitas. Las "pérdidas en el cobre" son en ohmios en los devanados del estátor y en el rotor. Estas son tanto mayores cuanto mayor sea el aprovechamiento, es decir, cuanto mayor sea la relación de la potencia eléctrica producida y la masa de los componentes activos. A las pérdidas mecánicas corresponden las de rozamiento en los cojinetes y en las escobillas, el rozamiento del aire del rotor y las del ventilador que aumentan con el número de revoluciones.

En servicio normal el alternador trifásico trabaja en el intervalo de carga parcial. El rendimiento a un número de revoluciones

promedio es aproximadamente del 50 %. Colocando un alternador mayor y más pesado, a igualdad de consumo de los aparatos, se puede trabajar con un rendimiento notablemente más favorable. No obstante, hay que tener en cuenta el mayor par de inercia de masa, que origina más necesidad de energía para la aceleración rotatoria.

Como dispositivo típico de servicio permanente, el generador tiene que optimizarse respecto al consumo de combustible, más por su rendimiento que por su peso.

Ruidos

El ruido que producen los generadores tiene cada vez más importancia a medida que los vehículos son más silenciosos. El ruido de un generador se compone de partes de origen magnético y aerodinámico.

El ruido originado magnéticamente, de tono alto, aparece principalmente a revoluciones bajas (< 4000 min^{-1}). Puede atenuarse optimizando el circuito magnético y la característica de oscilaciones y de irradiación.

El ruido aerodinámico aparece principalmente a revoluciones altas y puede atenuarse mejorando los ventiladores, p.ej. asimétricos, y con una conducción adecuada del aire.

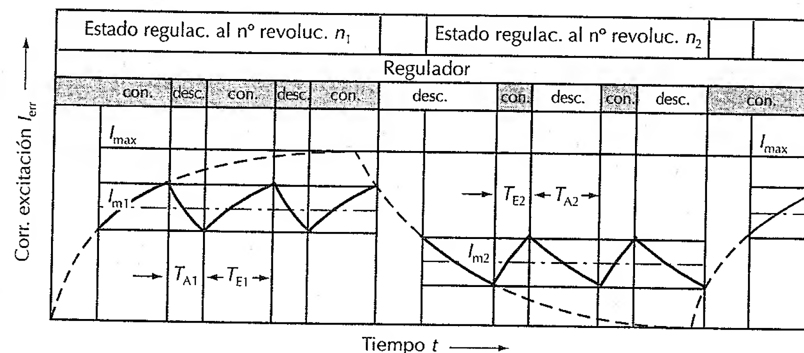
Regulación de la tensión

La misión del regulador de tensión es limitar su valor superior incluso con grandes variaciones del número de revoluciones y de la carga del alternador. Normalmente el nivel al cual el regulador limita la tensión del generador depende de la temperatura. El nivel de tensión se eleva algo en invierno para mejorar la carga de la batería dificultada por el frío. En verano se limita por medio del regulador la tensión de la instalación eléctrica a un nivel con límite más bajo, porque de lo contrario, debido a la carga generalmente baja de los aparatos consumidores, existe el peligro de sobrecargar la batería. En contados casos se utilizan también reguladores de tensión constante. A bajo número de revoluciones y grandes intensidades de corriente de los aparatos consumidores, puede que se reduzca la tensión de la instalación eléctrica por debajo de la tensión de regulación del regulador.

Mientras que anteriormente los reguladores estaban compuestos de elementos discretos, se utilizan hoy en día circuitos híbridos o monolíticos. Un regulador transistorizado moderno, con la técnica híbrida, contiene dentro de una caja herméticamente cerrada, una placa cerámica con resistencias de protección y un IC encolado (circuito integrado de conmutación), en el que están reunidas todas las funciones de mando y regulación. El transistor de potencia y los diodos inversos van soldados directamente a la base metálica, para asegurar una buena disipación del calor. En un regulador en técnica monolítica los IC de mando y de regulación, el transistor de potencia y el diodo de rueda libre están ubicados en un chip común. De forma creciente se utilizan reguladores con funciones especiales (reguladores de funciones múltiples).

Función del regulador

I_{err} *Corriente de excitación,* T_E *Tiempo conectado,* T_A *Tiempo desconectado,* I_m *Corriente de excitación media,* n_1 *Número de revoluciones inferior,* n_2 *Número de revoluciones superior*



Protección contra la sobretensión

Los alternadores y los reguladores por lo general son tan resistentes a la tensión, que los elementos semiconductores incorporados, al funcionar con la batería, trabajan con seguridad y sin averías. El funcionamiento de emergencia sin batería, tiene como consecuencia, sin embargo, el que se produzcan elevadas crestas de tensión; esto sucede principalmente en el caso de los Load-Dumps, es decir, al "arrojarse" cargas mayores de consumidores. Entonces el funcionamiento sin averías sólo es posible con medios adicionales. Para la protección contra sobrecargas se dispone de tres alternativas:

Protección mediante diodos Zener

En lugar de los diodos de potencia del rectificador pueden utilizarse diodos Zener de potencia. Los diodos Zener (o diodos de avalancha) limitan las puntas de tensión cuando aparecen, haciéndolas inofensivas para el generador y el regulador. Los diodos Zener ofrecen la posibilidad de la protección a distancia para otros aparatos consumidores sensibles a la tensión. La tensión de reacción del diodo Zener es de 20 a 24V para un alternador de 14V. Los generadores compactos están equipados en un 100% con diodos Zener.

Alternador y regulador en ejecución resistente a la tensión

En los alternadores y reguladores resistentes a la tensión, los elementos semiconductores poseen mayor resistencia a la tensión. Los alternadores y reguladores resistentes a la tensión sólo tienen protección propia pero no poseen ninguna función de protección a distancia para otros aparatos consumidores sensibles a la tensión.

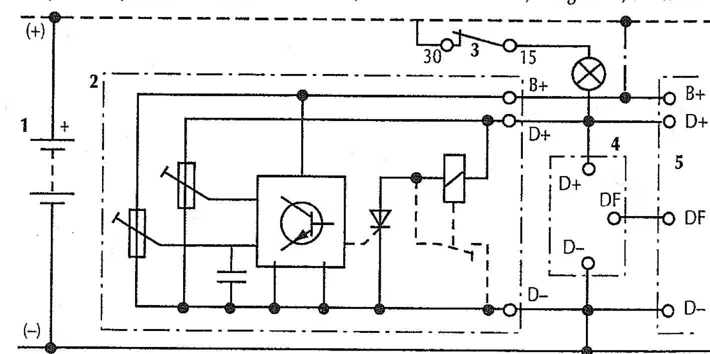
Aparatos de protección contra las sobretensiones

Son aparatos con circuitos de semiconductores, que están unidos a los bornes del generador D+ y D– (tierra). Cuando se presentan puntas de tensión, el alternador es puesto en cortocircuito a través del devanado de excitación. Los aparatos de protección contra sobretensiones protegen primariamente al alternador y al regulador y recién en segundo lugar a consumidores sensibles a tensiones. Los aparatos de protección contra sobretensiones pueden estar combinados con una protección contra daños por fallos para evitar que "hierva" la batería por un regulador conductor defectuoso.

Los alternadores trifásicos normalmente no tienen una protección contra una conexión errónea de los polos. Una conexión errónea de los polos (p.ej. al conectar la batería para una ayuda de arranque) origina la destrucción de los diodos en el generador y pone en peligro a los elementos semiconductores de otros componentes en el vehículo.

Circuito de un aparato de protección contra sobretensión con automatismo de conexión

1 *Batería,* **2** *Aparato de protección contra sobretensiones,* **3** *Contacto de marcha,* **4** *Regulador,* **5** *Alternador*



Compatibilidad electromagnética EMV y protección antiparásita

La compatibilidad electromagnética (EMV) es la cualidad de un sistema eléctrico de comportarse con normalidad en la proximidad de otros sistemas: no perturba a estos sistemas ni le perturban. Aplicado al vehículo, esto significa que los diferentes sistemas eléctricos instalado tales como el de encendido, el electrónico de inyección, el ABS, la radio, el teléfono móvil, etc., deben poder funcionar unos próximos a otros y sin influencias recíprocas. Por otro lado el vehículo debe acomodarse a su entorno, es decir que no debe estar influido eléctricamente por otros vehículos ni las transmisiones de ondas radiofónicas, televisivas o de otros servicios por radio. Por el contrario, el vehículo debe poder seguir funcionando a pleno rendimiento en presencia de fuertes campos (como p.ej. cerca de emisoras).

Por estos motivos los sistemas eléctricos para vehículos, y también los vehículos en su conjunto, han de ir equipados de tal manera que sean compatibles electromagnéticamente.

Fuentes de interferencias

Red de a bordo, ondulación

El generador alimenta la red de a bordo con una corriente trifásica rectificada. A pesar de la rectificación, por la batería queda una ondulación residual. Su amplitud depende de la carga de la red de a bordo y del cableado. Su frecuencia varía según las revoluciones del generador o del motor. La oscilación fundamental está en el campo de los kHz. Acoplado por vía inductiva o galvánica a los sistemas de audio, la ondulación se nota en los altavoces como tono fluctuante.

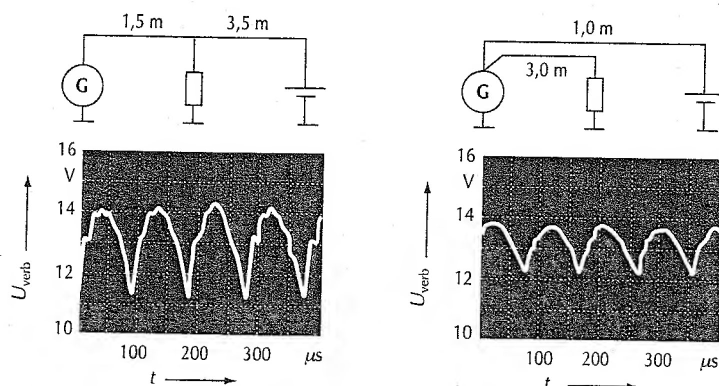
Red de a bordo, impulsos

Al conectar consumidores, en la red de a bordo se producen impulsos. Estos penetran en otros sistemas directamente a través de la alimentación de tensión o bien indirectamente por desacoplamiento a través de conductores próximos. En caso de falta de ajuste provocan fallos de funcionamiento llegndo incluso a la destrucción de otros sistemas.

La multitud de los impulsos que aparecen en el vehículo puede dividirse principalmente en cinco grupos. La división en clases según la amplitud de los impulsos permite la adaptación óptima de las fuentes de interferencias (lugares causantes) y los sumideros (lugares con especial sensibilidad a las interferencias) en cada vehículo.

Influencia de la configuración de la red de a bordo en la ondulación de la tensión

Ejemplo: *I_{Gen} = 130 A, n_{Gen} = 18000 min^{-1}, batería 12 V 55 A · h, U_{verb} = Tensión consumidor*



Esta adaptación, o en este caso modulación, puede realizarse de manera que para todas las fuentes de interferencias se prescriba la clase II, y todos los sumideros de interferencias (p.ej. dispositivos de mando), teniendo en cuenta una distancia de seguridad, sean dimensionados para la clase II. Un desplazamiento hacia las clases I/II es apropiado cuando es más favorable proteger las fuentes que aplicar las medidas apropiadas de protección a los sumideros.

Si por el contrario es sencillo y favorable conseguir medidas de protección en los receptores de las perturbaciones, entonces es oportuno el desplazamiento hacia las clases III/IV.

Red de a bordo, alta frecuencia

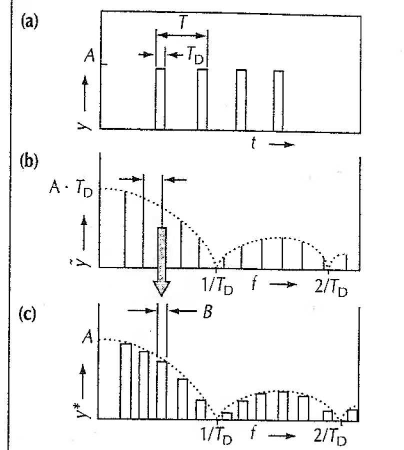
En el interior de muchos componentes se excitan altas frecuencias por la interrupción o conmutación de corrientes. A través de los conductores conectados estas oscilaciones llegan, más o menos amortiguadas, a la red de a bordo.

Según que la tensión de interferencia tenga un desarrollo continuo o esté compuesta por líneas individuales, se habla de interferencias de "banda ancha" (motores eléctricos, p.ej. limpiaparabrisas, ventiladores, bomba de combustible, generador) o de interferencias de "banda estrecha" (dispositivos electrónicos de mando con microprocesadores).

Esta clasificación depende del ancho de banda del dispositivo de medición utilizado.

Interferencias de banda ancha y estrecha

(a) Desarrollo en el tiempo de una señal y(t),
(b) Espectro correspondiente, ȳ(f),
(c) Observación del espectro mediante un dispositivo de medición del ancho de banda B: con B · T < 1 (como representado en el diagrama) barras individuales "interferencias de banda estrecha", con B · T > 1 desarrollo continuo, interferencias de "banda ancha".



Las oscilaciones de alta frecuencia pueden perturbar prolongadamente a sistemas vecinos de comunicaciones en el vehículo porque su frecuencia y amplitud están en su intervalo de servicio y son captados directamente por el sensor del sistema de comunicación —la antena— o acoplados al cable de la antena.

Impulsos de comprobación según DIN 40839, parte 1ª para redes de a bordo de 12 V

Impulsos de comprobación				Clasificación de las amplitudes admisibles			
Forma del impulso	Causa	Resistencia interna	Duración del impulso	I	II	III	IV
1	Desconexión de consumidores inductivos, p.ej. relé o válvula	10Ω	2ms	–25 V	–50 V	–75 V	–100 V
2	Desconexión de consumidores de motor, p.ej. motor de ventilador causante de sobretensión al pararse	10Ω	50µs	+25 V	+50 V	+75 V	+100 V
3a 3b	Sobretensiones debidas a conmutaciones	50Ω	0,1µs	–40 V +25 V	–75 V +50 V	–110 V +75 V	–150 V +100 V
4	Desarrollo de la tensión de alimentación durante el arranque	10mΩ	bis 20s	+12 V –3V	+12 V –5 V	+12 V –6 V	+12 V –7 V
5	"arrojado" de carga (ingl.: load dump)(1)	1Ω	bis 400ms	+35 V	+50 V	+ 80 V	+120 V

(1) "arrojo" de carga, ingl.: load dump, es decir el generador carga la batería con una corriente grande y se interrumpe de repente la conexión con la batería.

Para las fuentes de interferencias de banda ancha, como son los motores eléctricos, ventiladores, etc., la evaluación de las emisiones de interferencias se realiza a través de las tensiones de las interferencias en los conductores de alimentación en una estructura definida de comprobación según DIN 57 879 / VDE 0879, parte 3ª. La escala allí indicada de las tensiones de interferencias en grados de supresión facilita el ajuste de fuentes de interferencias y de receptores de interferencias en el equipo original del vehículo.

En el caso en que se demuestre que en instalaciones posteriores de sistemas de comunicaciones los niveles admitidos de interferencias son demasiado altos, entonces las medidas posteriores de supresión son limitadas:

– Si la fuente de interferencias es alimentada directamente por el borne 15 o 30 a través de un conmutador suficientemente dimensionado, entonces unos condensadores de supresión de interferencias, aptos para vehículos, pueden bajar los niveles de interferencias. Para ello estos condensadores se montan directamente en los bornes y con conductores muy cortos a tierra. El sobreacoplado de conductores que conducen interferencias se puede reducir mediante una parrilla cortocircuitada a tierra por ambos lados.

– Si la fuente de interferencias es regulada desde un dispositivo de mando, entonces normalmente no está permitida la conmutación posterior de la fuente de interferencias, porque con ello variarían las propiedades de conmutación (borrado) del dispositivo de mando.

– Los microprocesadores integrados en los dispositivos de mando, con sus señales de impulsos hacen de fuente de interferencias. En la concepción de las conexiones y de los aparatos se minimizan las emisiones de interferencias mediante multitud de medidas de conmutación (p.ej. condensadores de supresión de interferencias) y del trazado de los conductores en su planificación.

La evaluación en el laboratorio del comportamiento de interferencia de los componentes electrónicos se realiza en función de los conductores (p.ej. por la medición de la tensión de interferencias en los conductores de alimentación) o bien mediante mediciones a través de antenas. La calificación definitiva, si en el vehículo es posible la recepción de señales de radio (radiofonía o telecomunicación por radio), se efectúa en la conexión del receptor al cable de la antena midiendo la tensión de interferencia. Esto se realiza con una conexión apropiada de medición para el ajuste de la impedancia de entrada del receptor de medición a la impedancia de entrada del dispositivo receptor.

El vehículo como fuente de interferencias

Para las emisiones en conjunto del vehículo la principal la da la instalación de encendido. Para respetar la recepción de transmisiones sin interferencias en radio y televisión de otros vehículos y de los habitantes de las cercanías de las carreteras, las emisiones están limitadas por la legislación Regulación EC N° ECE-10).

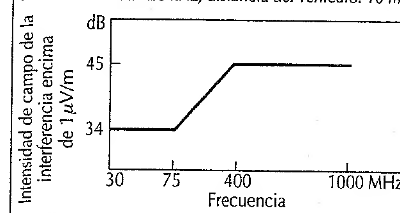
Para vehículos con sistemas de comunicaciones (normalmente no es suficiente cumplir simplemente los valores de la regulación ECE. Para la supresión de interferencias en vehículos con radio o teléfono según el tipo de vehículo hay que bajar además el nivel de las emitidas por las bujías y en su caso por el distribuidor, mediante enchufes especiales de supresión de interferencias. En vehículos con telecomunicación por radio puede llegar a ser necesario el blindaje total o parcial de la instalación de encendido. Las medidas en parte tienen un efecto negativo sobre el sistema de encendido y en cada caso deben comprobadas por el especialista en cuanto a si son admisibles.

Niveles admitidos de tensiones de interferencias, en transmisiones de radio, de los grados de supresión de interferencias en los diferentes intervalos de frecuencias con fuentes de banda ancha de interferencia, según DIN 57 879, parte 3ª / VDE 0879, parte 3ª

Grado de supresión	Zona de frecuencias en			
	OL 0,15 hasta 0,3 MHz	OM 0,5 hasta 1,65 MHz	OC 5,95 hasta 26,1 MHz	UC 87,5 hasta 108 MHz
	Nivel de supresión admisible en dB			
5	60	50	40	24
4	70	58	46	30
3	80	66	52	36
2	90	74	58	42
1	100	82	64	48
0	Sin limitación			

Valores límite para emisiones de interferencias de un vehículo según CISPR y ECE 10

Ancho de banda 120 kHz, distancia del vehículo: 10 m



cias de las señales útiles ($f_S \approx f_N$) y el de submúltiplos de las mismas.

Las señales no moduladas o de altas frecuencias sinusoidales moduladas con bajas frecuencias (intensidades de campo de emisoras) pueden ser demoduladas en pasos pn en las conexiones electrónicas. Esto puede llevar a desplazamientos de niveles debido a las proporciones de corriente continua o a la superposición de señales de interferencia variables en el tiempo, debido a las partes demoduladas de baja frecuencia de la señal del emisor. La frecuencia portadora normalmente equivale a un múltiplo de las frecuencias útiles ($f_{S,NF} >> f_N$). Las proporciones de baja frecuencia de la señal de interferencia son especialmente críticas, si quedan en los intervalos de las frecuencias útiles ($f_{S,NF} << f_N$).

Incluso las señales de interferencia con frecuencias mucho más bajas ($f_S << f_N$) pueden producir perturbaciones por intermodulación.

Sumideros de interferencias

Los aparatos electrónicos de mando son sumideros de interferencias de las señales perturbadores provenientes de fuera que penetran en el sistema. Las señales de interferencia provienen o bien de otros sistemas del propio vehículo o del entorno, como p.ej. si éste se encuentra cerca de emisoras potentes. Los fallos aparecen cuando el sistema es incapaz de separar las señales útiles de las señales de interferencias.

Las posibilidades de supresión dependen de las propiedades de ambas clases de señales.

Si la característica de una señal de interferencia es similar a la de una señal útil (p.ej. señal de impulsos parecida a la señal de una señal del cuentarrevoluciones), no puede diferenciarse entonces en los dispositivos de mando electrónicos, entre señal útil y de interferencia. Son pues críticas las señales de interferencias en los intervalos de frecuen-

Acoplamiento de interferencias

Las señales de fuentes de interferencias llegan hasta el sumidero de interferencias a través de tres vías:

– El acoplamiento galvánico, que se produce cuando la fuente y el sumidero de interferencias tienen rutas de corriente comunes, lo cual es inevitable con una alimentación común de tensión. En la concepción del mazo de cables del vehículo hay que tener en cuenta dimensionar al mínimo el acoplamiento galvánico. Si para ello es lo más indicado utilizar una estructura paralela, en serie o de múltiples puntos de los conductores de alimentación, depende de la intensidad de corriente, los intervalos de frecuencias y del concepto del sistema a conectar.

– El sobreacoplamiento se produce en conductores de unión paralelos entre el sumidero y la fuente de interferencias. En el modelo, se calcula la tensión U_b acoplada al sumidero de interferencias con la fórmula

$$U_b = \frac{k \cdot R_2 \cdot \operatorname{senh}(\gamma \cdot l)}{(R_1 + R_2) \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + W\left(k_a + \frac{R_1 \cdot R_2}{W^2} \cdot k_b\right) \cdot \operatorname{senh}(\gamma \cdot l)} \cdot \left(\frac{R_1}{W} \cdot U - (W \cdot l)\right)$$

con las magnitudes características

$k = C/C_0$; $k_a = (C_a + C)/C_0$; $k_b = (C_b + C)/C_0$

$C_0 = \sqrt{C_a \cdot C_b + C \cdot (C_a + C_b)}$

$\gamma \cdot l = j(\omega/c) \cdot l$; $W = 1/(c \cdot C_0)$

$c = 30$ cm/ns (velocidad de la luz).

U_b se compone de una parte "capacitativa" dependiente de la tensión U y de una parte "inductiva" dependiente de la corriente I. Si la longitud de onda de la señal de interferencia es mayor que la extensión l, entonces se simplifica a:

$U_b \approx k(\gamma \cdot l) \cdot [U(R_1 \cdot R_2)/(R_1 + R_2)$
$- W \cdot I \cdot R_2/(R_1 + R_2)]$

Se ve que el sobreacoplamiento ha de ser tanto menor, cuanto más corto sea l y menor la capacidad normalizada de acoplamiento k.

Al aumentar la distancia entre los conductores disminuye k, pudiendo ulteriormente ser reducida mediante una pantalla conectada a tierra por ambos lados.

– El acoplamiento directo es posible cuando el sensor S y el actuador A reaccionan directamente contra campos electromagnéticos, p.ej. cuando S es una antena de recepción, un micrófono o el cabezal magnético de un reproductor de cassettes. En este caso hay que reducir el acoplamiento hasta que no haya interferencia, separando físicamente la fuente y el sumidero de interferencias.

Técnica de medición

Para la comprobación de la resistencia a las interferencias y las emisiones de interferencias son usuales una multitud de métodos de medición. De forma sucinta se dividen según el tipo evaluación de los fenómenos de interferencia que trabajan en el intervalo de tiempo (generadores de impulsos, osciloscopios) y en procedimientos que trabajan en el intervalo de frecuencias (generadores sinusoidales, receptores de medición, analizadores panorámicos).

– Las señales de interferencias emitidas son expresadas en las magnitudes relativas en dB (decibelios), tal como se acostumbra en la técnica de mediciones de interferencias. Para tensiones de interferencia la magnitud de referencia es el μV y para la potencia el μW, es decir que son:

$u^* = 20 \cdot \lg U$
$e^* = 20 \cdot \lg E$
$p^* = 10 \cdot \lg P$

con u^*, e^*, p^* en dB; U en μV; E en μV/m; P en mW. En la técnica de medición para la influencia de las interferencias generalmente se indican las magnitudes (amplitudes de los impulsos, intensidades de campo de la emisora) de forma directa (E en V/m; U en V; I en A).

Las mediciones de EMV se efectúan en componentes individuales, en sistemas en el laboratorio y en el vehículo.

– Los modelos de la red sirven para detectar los impulsos emitidos por un aparato o las tensiones de interferencia de alta frecuencia bajo condiciones normalizadas.

– La resistencia contra interferencias en forma de impulsos se realiza con generadores especiales de impulsos, con los cuales pueden generarse las señales según DIN 40 839, parte 1ª.

– Las ondas de interferencias guiadas por conductores son producidas por cable desnudo, una célula TEM (campo magnético transversal) o por una BCI (Bulk Current Inyection), acoplado al mazo de cables de un sistema eléctrico. Con un cable desnudo, el mazo de cables se pasa entre un conductor en forma de cinta y una placa base. En la célula TEM el dispositivo de mando esta dispuesto junto al tronco del mazo de cables, transversalmente a la dirección de difusión de las ondas electromagnéticas. En el BCI es grabada una corriente en el mazo de cables mediante una pinza de corriente.

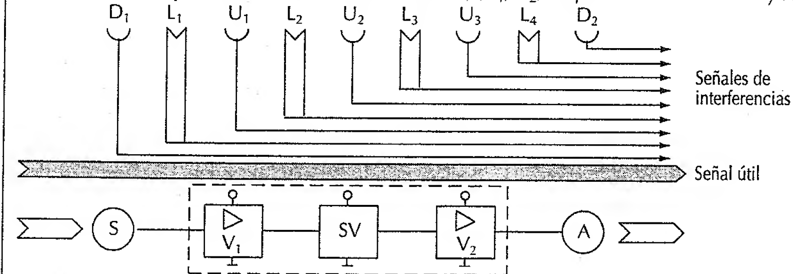
– La radiación de interferencia emitida es medida mediante antenas de banda ancha dentro de células blindadas y revestidas con absorbedores.

– La resistencia a las interferencias de los sistemas electrónicos frente a las ondas electromagnéticas de emisoras potentes es comprobada en el vehículo dentro de naves especiales de medición (naves de absorción). Allí pueden ser producidas intensidades eléctricas y de campos magnéticos correspondientemente altas, a las cuales es expuesto todo el vehículo.

– El efecto de interferencia de la electricidad y electrónica del vehículo sobre las transmisiones de radio dentro del vehículo es medido con receptores sensibles, dentro de lo posible con las antenas originales montadas del vehículo, en la conexión de recepción de los receptores de radio.

Modelo de influencia

Sistema electrónico: S Sensor(es), V_1 Amplificación y preparación de la señal, SV Procesamiento de la señal, V_2 Amplificación de la potencia, A Actuador(es)
Al flujo de señales útiles se le superpone un flujo de señales de interferencia. (U_1 hasta U_3) Acoplamiento galvánico, (L_1 hasta L_4) Sobreacoplamientos en conductores de conexión, (D_1, D_2) Acoplamiento directo a sensor y actuador



Prescripciones y Normas

La supresión de interferencias generadas en el vehículo (protección de la recepción de transmisiones de radio para receptores fijos) está prescrita por ley en Europa desde 1972 Regulación EC Nº ECE-10). Desde el 1.1.1996 existen prescripciones legales obligatorias para la compatibilidad electromagnética (directiva europea o nacionalmente la ley EMV) para todos los aparatos e instalaciones electrónicas, que participen en el tráfico. Para los vehículos ha sido elaborada una directiva especial, la cual, además de definir la forma de incorporar al tráfico un vehículo o un componente electrónico, también comprende métodos de medición y valores límite a ser respetados.

Los métodos de medición de EMV son indicados en una multitud de normas nacionales e internacionales. Las normas alemanas (DIN/VDE) corresponden principalmente a las internacionales (ISO/CISPR) y cubren toda la temática relacionada con los vehículos.

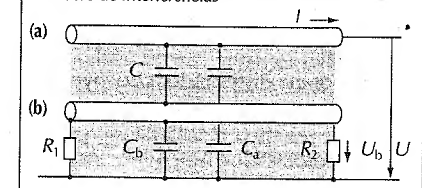
Normas

Resistencia a las interferencias
(EMV en vehículos de carretera)
DIN 40839, parte 1ª, ISO 7637-0/-1/-2,
DIN 40839, parte 3ª, ISO/DIS 7637-3,
DIN 40839, parte 4ª, ISO/DIS 11451/11452.

Supresión de interferencias de transmisiones de radio en vehículos
DIN 57879/VDE 0879, partes 1ª, 2ª, 3ª,
CISPR 12, CISPR/D 25.

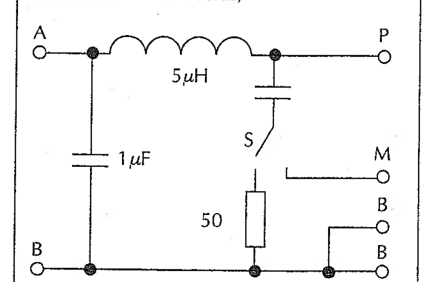
Modelo para el mecanismo de acoplamiento de ondas electromagnéticas guiadas por conductores

(a) Conductor, sobre el cual se difunde una onda electromagnética producida por una fuente de interferencias, (b) Conductor influenciado, componente del sumidero de interferencias



Esquema básico de modelo de red de a bordo de vehículo según DIN 57 879, parte 3ª/VDE 0879, parte 3ª

P-B *Conexión del dispositivo a ser ensayado,* A-B *Conexión alimentación de corriente,* M-B *Conexión medidor de interferencias de recepción,* S *Conmutador,* B *Masa de referencia (placa metálica, blindaje del modelo de red de a bordo)*



Datos de vehículos

El resumen que sigue contiene una selección de tipos de turismos de diversos países (vigentes el 1.2.1995).
La selección no representa ninguna valoración dentro de la gama de modelos de un fabricante ni comparación con los de otros fabricantes.

Abreviaciones

aa	Tracción en las cuatro ruedas
A	Cambio automático
ABS	Sistema antibloqueo
AT	Turbocompresor de gases de escape
Bx	Motor de pistones opuestos
Ca	Descapotable
Co	Coupé
Cp	Limusina compacta
Db	Amortiguador telescópico
DQl	Brazo transversal articulado en triángulo
DQu	Brazo transversal articulado doble
Ea	Suspensión de rueda independiente atrás
El	Inyección electrónica de gasolina
EP/R	Bomba de inyección en línea, Diesel
EP/eR	Bomba distribuidora de inyección, Diesel
F	Suspensión telescópica
Gli	Limusina monovolumen
h	Trasera, en las ruedas traseras
Hf	Suspensión hidroneumática
Hv	Suspensión hidroneumática con cojín de nitrógeno
Ic	Enfriador intermedio
Ko	Coche combinado (familiar)
Kom	Compresor
Ku	Estabilizador en curvas
La	Regulación Lambda
Li	Limusina
Lk	Refrigeración del aire de compresión
Ll	Biela longitudinal
Ls	Brazo oscilante longitudinal
Ma	Eje de conducción múltiple
Mm	Motor central
Mv	Motor tras el eje delantero
O	Superdirecta
Om	Eje omega
P	Barra Panhard
q	Montado transversalmente
Qf	Ballesta transversal
Ql	Brazo transversal articulado
R	Motor en línea
Ra	Eje de conducción espacial (5 articulaciones en cada rueda)
Ro	Deportivo biplaza descapotable
ROZ	Número octano de investigación
Sa	Eje rígido
Sb	Frenos de disco
Sf	Muelle helicoidal
Sl	Pivote inclinado
St	Cambio sin escalones
Sv	Freno asistido (servo)
Ta	Eje de cigüeñal de torsión
Tb	Freno de tambor
Tfq	Muelle de torsión, transversal
Tl	Eje de pivote trapezoidal
v	Delante, sobre las ruedas delanteras
V	Motor en V
Ve	Válvulas por cilindro
Vl	Eje de pivote cuádruple
Vla	Eje de pivote compuesto
W	Agua
Wa	Varillaje Watt
Ze	Inyección central
Zl	Articulación adicional
4Sb	4 frenos de disco
–	Sin indicaciones

Aclaraciones

Para cada tipo de modelo se citan las siguientes aclaraciones (líneas 1 a 35). No se citan expresamente: línea 16: montado longitudinalmente, línea 20: motor delantero, línea 23: cambio por palanca, línea 32: suspensión de ruedas delanteras independiente.

1 **Carrocería**
3/5 KoLi5 significa por ejemplo: limusina familiar de 3 o 5 puertas con cinco asientos.

2 **Potencia útil**
La potencia útil librada por el motor en kW (CV) según DIN 70 020. Cuando no se dispone de indicaciones en DIN, pueden utilizarse también en ECE (Economic Commission for Europe), SAE (Society of Automotive Engineers) o JIS (Japan Industry Standard).

4 **Velocidad máxima**
La velocidad máxima según DIN 70 020 que el vehículo puede mantener en un tramo de medición de 1 km de longitud.

6 **Peso en vacío**
Peso del vehículo a punto de servicio, sin conductor.

8 **Relación peso/potencia**
Calculada por la potencia útil y el peso a punto de servicio del vehículo sin conductor (peso en vacío). Cuanto más pequeña es la relación peso/potencia, tanto mayor es la capacidad de aceleración y de ascenso en pendientes.

9 **Consumo de combustible**
En los vehículos europeos, se indica casi siempre según norma DIN 70030 (página 328). Indicación del consumo medio a 90 km/h constantes, a 120 km/h constantes y en circulación urbana; si no, el consumo medio.

15 **Potencia por cilindrada**
Relación entre la potencia útil y la cilindrada expresada en litros (también llamada potencia específica): Conversión: 1 kW/l = 1,36 CV/l

16 **Tipo de motor**
La secuencia de datos es: posición del motor, número de cilindros, disposición de los cilindros.
Ejemplos: q4R significa motor transversal, 4 cilindros en línea, 4Ve significa: cuatro válvulas por cilindro.

20 **(Posición del motor)-Tipo de transmisión**
En motor central y motor trasero las letras delante del guión indican la posición del motor, y detrás del guión la posición de las ruedas de tracción; por ejemplo, h-h significa motor trasero, ruedas de tracción traseras; Mm-aa significa motor central, tracción a las cuatro ruedas; h significa motor delantero y accionamiento de las ruedas traseras.

21 **Reducción de engranajes**
Relación de reducción en cada una de las marchas del motor al árbol de salida del cambio (árbol motor) (equipamiento base).

22 **Reducción de transmisión del eje**
Relación de reducción de transmisión del árbol motor al palier.

23 **Cambio de marchas**
H indica el número de marchas hacia delante. (A) indica el número de posiciones del cambio automático hacia delante; por ejemplo: 5 significa cinco marchas hacia delante, palanca de cambio; (3) significa 3 posiciones de cambio automático. 5/4 (4) significa 5 o 4 marchas hacia delante, cambio de palanca, y 4 posiciones de cambio automático. En la línea 21 siempre se indica la primera de las ejecuciones aquí indicadas.

24 **Refrigeración**
W 12: refrigeración por agua, 12 litros de capacidad.

32/**Suspensión de las ruedas**
33 Ql-F significa por ejemplo, brazo transversal con suspensión telescópica. Sa-Ll-Sf, eje rígido con brazos longitudinales y muelles helicoidales.

34 **Neumáticos**
Véanse en la página 598 las aclaraciones sobre los neumáticos.

35 **Sistema de frenos**
Sb-Tb-Sv significa por ejemplo: frenos de disco delante, frenos de tambor detrás y freno asistido (servofreno).

País		Alemania				
Marca del vehículo		Audi				
Modelo		A4 1.8	A4 quattro 1.8 turbo	A4 1.9 TDI	Coupé 2.OE	80 Avant 2.6E
1 Carrocería		4 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	3 Co 5	5 Ko 5
2 Potencia útil	kW(CV)	92 (125)	110 (150)	66 (90)	85(115)	110(150)
a nº revol. del motor	min^{-1}	5800	5700	4000	5400	5500
3 Par de giro máx.	Nm	173	210	202	165	225
a nº revol. del motor	min^{-1}	3950	1750–4600	1900	3200	3500
4 Velocidad máxima	km/h	205	220	183	196	207
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	10,5	8,4	13,3	10,9	9,5
6 Peso en vacío	kg	1225	1340	1240	1190	1370
7 Peso total admitido	kg	1790	1890	1790	1650	1920
8 Relación peso/potencia	kg/kW	13,3	11,2	18,8	14	12,5
9 Consumo combustible	l/100km	5,8/7,5/10,1	6,4/8,3/10,9	3,9/5,4/6,1	6,0/7,4/11,3	6,9/8,9/12,3
10 Tipo de combustible	ROZ	95	95	Diesel	95	95
11 Capacidad del depósito	l	62	60	62	70	66
12 Cilindrada	cm^3	1781	1781	1896	1984	2598
13 Diam. cilindro/carrera	mm	81/86,4	81/86,4	79,5/95,5	82,5/92,8	82,5/81
14 Relación de compresión		10,3	9,5	19,5	10,4	10
15 Potencia cilindrada	kW/l	51,7	61,8	34,8	42,9	42,3
16 Forma motor		4 R, 5 Ve	4 R, 5 Ve	4 R	4 R	6 V
17 Preparación mezcla		El	El, AT, lc	EP/eV, AT, Lk	El	El
18 Generador (14 V)	A	70	70	120	70/90	90
19 Batería (12 V)	Ah	44/70	44/70	80	40/50/63	63
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	aa	v	v	v
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,50/2,12	3,78/2,18	3,50/1,84	3,545/2,105	3,545/1,86
	3ª/4ª	1,43/1,03	1,43/1,03	1,60/0,84	1,49/1,03	1,30/1,03
	5ª	0,84	0,84	0,68	0,84	0,84
22 Reducción eje		4,11	3,89	3,89	4,53	3,89
23 Tipo de cambio marchas	Man(Aut)	5 (4)	5	5	5 (4)	5 (4)
24 Refrigeración		W 6,5	W 6,5	W 6,5	W 6,5	W 11
25 Longitud del vehículo	mm	4480	4480	4480	4365	4480
26 Ancho del vehículo	mm	1735	1735	1735	1715	1695
27 Altura del vehículo	mm	1415	1415	1415	1380	1410
28 Distancia entre ejes	mm	2615	2605	2615	2555	2610
29 Vía delant/tras.	mm	1500/1480	1500/1475	1500/1480	1445/1445	1450/1470
30 Diámetro mín. de giro	m	11,1	11,1	11,1	11	11,2
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	105	105	105	140	130
32 Suspensión ruedas del.		Vl–Sf–Ku	Vl–Sf–Ku	Vl–Sf–Ku	DQl–F–Ku	DQl–F–Ku
33 Suspensión ruedas tras.		Vla–Ku	DQl–Ku	Vla–Ku	Ta–P–Sf–Ku	Vla–Ku
34 Neumáticos		196/65 R 15	196/65 R 15	196/65 R 15	205/60 VR 15	205/60 VR 15
35 Sistema de frenos		4Sb–Sv–ABS	4Sb–Sv–ABS	4Sb–Sv–ABS	4Sb–Sv–ABS	4Sb–Sv–ABS

Abreviaciones y aclaraciones ver págs. 822-823.

			BMW				
Cabriolet 2,8E	A6 Avant 2.5 TDI	A8 quattro 4.2	316i compact	318i	320i	328i touring	
2 Ca 4	5 Ko 5/7	4 Li 5	3 Cp 5	4 Li 5	4 Li 5	5 Ko 5	1
128 (174)	85 (115)	221 (300)	75 (102)	85 (115)	110 (150)	142 (193)	2
5500	4000	6000	5500	5500	5900	5300	
245	265	400	150	168	190	280	3
3000	1900	3300	3900	3900	4200	3950	
218	190	250	188	201	214	230	4
9,8	11,4	7,3	12,3	11,3	9,9	7,4	5
1455	1510	1750	1140	1205	1285	1365	6
1855	2060	2350	1600	1665	1775	1865	7
10,2	17,2	7,9	15,9	14,2	11,7	9,3	8
7,3/9,2/13	4,8/6,7/7,5	8,2/10,2/16,5	5,7/7,5/9,1	5,7/7,4/9,6	6,5/7,9/11,3	6,5/8,0/11,6	9
95	Diesel	98/95	95	95	95	95	10
70	80	90	52	65	65	65	11
2771	2461	4172	1596	1796	1991	2793	12
82,5/86,4	81/95,5	84,5/93	84/72	84/81	80/66	84/84	13
10,3	20	10,8	9,7	9,7	11	10,2	14
46,2	34,5	53	47	47,3	55,2	50,8	15
6 V	5 R	8 V, 4 Ve	4 R	4 R	6 R, 4 Ve	6 R, 4 Ve	16
El	EP/eV, AT, Lk	El	Motronic	Motronic	Motronic	Motronic	17
90	120	120	70/80	70/80	80/105	80/105	18
63	92	92	46/50	50	65	65	19
v	v	v	h	h	h	h	20
3,50/1,842	3,78/2,18	3,50/1,840	4,23/2,52	4,23/2,52	4,23/2,52	4,20/2,49	21
1,30/1,029	1,31/0,89	1,30/1,030	1,66/1,22	1,66/1,22	1,66/1,22	1,66/1,24	
0,838	0,69	0,838	1,00	1,00	1,00	1,00	
3,7	3,7	3,89	3,38	3,38	3,45	2,93	22
5 (4)	5/6 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (5)	5 (5)	23
W 11	W 6,5	W 11	W 6	W 6	W 10,5	W 10,5	24
4365	4795	5035	4210	4435	4435	4435	25
1715	1785	1880	1700	1700	1700	1700	26
1380	1440	1440	1395	1395	1395	1395	27
2555	2685	2880	2700	2700	2700	2700	28
1445/1445	1520/1525	1590/1580	1420/1425	1420/1430	1410/1420	1410/1420	29
11	11,4	12,3	10,4	10,4	10,4	10,4	30
100	130	120	110	110	110	110	31
DQl-F-Ku	QL-F-Ku	VL-Ku-Sf	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	32
Ta-P-Sf-Ku	Ta-P-Sf-Ku	Tl-Ql-Ku-Sf	Ql-Ls-Sf-Sl	Ql-Ls-Sf	Ql-Ls-Sf-Ku	Ql-Ls-Sf-Ku	33
205/60 VR 15	195/65 VR/TR 15	225/60 WR 16	185/65 HR 15	185/65 HR 15	205/60 VR 15	205/60 WR 15	34
4Sb-Sv-ABS	4 Sb- Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv	4 Sb-Sv	4 Sb-Sv	4 Sb-Sv	35

País		Alemania				
Marca del vehículo		BMW *(Continuación)*				
Modelo		525i	530i touring	525 tds	740i	850 Ci Aut.
1 Carrocería		4 Li 5	5 Ko 5	4 Li 5	4 Li 5	2 Co 4
2 Potencia útil	kW(CV)	141(192	160(218)	105 (143)	210 (286)	240 (326)
a nº revol. del motor	min^{-1}	5900	5800	4800	5800	5000
3 Par de giro máx.	Nm	250	290	260	400	490
a nº revol. del motor	min^{-1}	4200	4500	2200	4500	3900
4 Velocidad máxima	km/h	230	227	207	250	250
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	8,6	8,3	11	6,9	6,3
6 Peso en vacío	kg	1480	1630	1480	1790	1880
7 Peso total admitido	kg	1990	2180	1990	2325	2300
8 Relación peso/potencia	kg/kW	10,5	9,8	14,1	8,5	7,8
9 Consumo combustible	l/100km	6,8/8,2/12,1	8,6/10,6/15,2	5,1/6,9/9,1	8,5/9,9/17,1	8,4/10,1/17,0
10 Tipo de combustible	ROZ	95	95	Diesel	95	95
11 Capacidad del depósito	l	80	80	80	85	90
12 Cilindrada	cm^3	2494	2997	2497	3982	5379
13 Diám. cilindro/carrera	mm	84/75	84/67,6	80/82,8	89/80	85/79
14 Relación de compresión		10,5	10,5	22	10	10
15 Potencia cilindrada	kW/l	56,5	53,4	42,1	52,7	44,6
16 Forma motor		6 R, 4 Ve	8 V, 4 Ve	6 R	8 V, 4 Ve	12 V
17 Preparación mezcla		Motronic	Motronic	EP/eR, AT, Ic	Motronic	Motronic
18 Generador (14 V)	A	80/140	100/140	95	100	140
19 Batería (12 V)	Ah	65	85	85	92	2 × 65
20 Tipo transmisión (posición del motor)		h	h	h	h	h
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	4,20/2,49	4,20/2,49	5,09/2,80	4,23/2,51	3,55/2,24
	3ª/4ª	1,67/1,24	1,66/1,24	1,76/1,25	1,67/1,23	1,54/1,00
	5ª/6ª	1,00	1,00	1,00	1,00/0,83	0,79 (Autom.)
22 Reducción eje	Man(Aut)	3,23	3,23	2,65	3,15	2,81
23 Tipo de cambio marchas		5(5)	5 (5)	5 (5)	6 (5)	(5)
24 Refrigeración		W 10,5	W 12,5	W 9,8	W 12	W 13
25 Longitud del vehículo	mm	4720	4720	4720	4985	4780
26 Ancho del vehículo	mm	1750	1750	1750	1860	1855
27 Altura del vehículo	mm	1410	1420	1410	1435	1340
28 Distancia entre ejes	mm	2760	2760	2760	2930	2685
29 Vía delant/tras.	mm	1470/1495	1470/1495	1470/1495	1550/1570	1555/1560
30 Diámetro mín. de giro	m	11	11	11	11,6	11,5
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	–	–	–	120	140
32 Suspensión ruedas del.		Ql-F-Ku	Ql-F-Ku	Ql-F-Ku	Ql-F-Ku	Ql-F-Ku
33 Suspensión ruedas tras.		Sl-Zl-Sf-Ku	Sl-Zl-Sf-Ku	Sl-Zl-Sf-Ku	Vl-Ql-Sf-Ku	Ql-Ll-Sf-Ku
34 Neumáticos		205/65 HR 15	225/60 ZR 15	205/65 VR 15	215/65 WR 16	235/50 ZR 16
35 Sistema de frenos		4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones págs. 822-823.

Ford							
Fiesta 1.3i	Escort 1.6 16V	Escort 1.8i 16V	Escort 1.8 TD	Mondeo 1.8 16V	Scorpio 2.9i V6 Turnier	Scorpio 2.5 TD	
3/5 Li 5	3/4/5 Li 5	3/4/5 Li 5	3/4/5 Li 5	4/5 Li 5	5 Ko 5	4 Li 5	1
44 (60)	66 (90)	77 (105)	66 (90)	85 (115)	110 (150)	85 (115)	2
5000	5500	5500	4500	5750	5500	4200	
101	134	156	180	158	229	270	3
2500	3000	4000	2200	3750	3500	2200	
153	177	187	172	195	196	193	4
14,7	12,3	107	11,5	11,1	11,5	11,9	5
825	1065	1065	1115	1225	1540	1545	6
1325	1625	1625	1650	1825	2200	2080	7
18,8	16,1	14,1	24,6	14,4	13,5	18,2	8
5,0/6,7/8,0	5,7/6,9/9,1	6,2/7,7/9,7	4,8/6,8/7,4	5,4/6,8/10,9	8,1/9,8/16,0	6,0/7,7/10,4	9
95	95	95	Diesel	95	95	Diesel	10
42	55	55	55	61,5	70	70	11
1297	1597	1796	1753	1796	2935	2500	12
73,96/75,48	76/88	80,6/88	82,5/82	80,6/88	93/72	92/94	13
8,8	10,3	10	21,5	10	9,5	21,5	14
33,9	41,3	42,9	25,1	47,3	37,5	34	15
q 4 R	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R	6 V	4 R	16
El	El	El	EP/V, AT, Ik, Ic	El	El	EP/V, AT, Ic	17
28-55	70/55	70/55	55	90	90/70	80/90	18
43/35	43/48/63	43/48/63	63/68	48	58	68/88	19
v	v	v	v	v	h	h	20
3,58/2,04	3,15/1,91	3,15/1,91	3,42/2,15	3,42/2,14	3,89/2,08	3,61/2,08	21
1,32/0,95	1,28/0,95	1,28/0,95	1,45/1,03	1,45/1,03	1,34/1,00	1,36/1,00	
0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,82	0,76	
4,06	3,82	3,82	3,56	4,06	4,09	3,36	22
5 (St)	5	5	5	5 (4)	5 (4)	5 (4)	23
W 7	W 7	W 7	W 9,3	W 6,6	W 8,5	W 7	24
3745	4135	4135	4135	4480	4825	4825	25
1605	1690	1690	1690	1750	1760	1760	26
1320	1395	1395	1395	1430	1440	1400	27
2445	2525	2525	2525	2705	2770	2770	28
1390/1385	1440/1460	1440/1460	1440/1460	1505/1485	1475/1500	1475/1500	29
9,8	10	10	10	10,9	10,4	10,4	30
140	–	–	–	120	120	120	31
DQl-F-Sf	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F	DQl-F	DQl-F	32
Vla-Sf	Vla-Ku-Sf	Vla-Ku-Sf	Vla-Ku-Sf	Ea-DQu-F-Li	Ea-Sl-Sf	Ea-Sl-Sf	33
155/70 SR 13	175/70 TR 13	175/70 TR 13	175/70 TR 13	185/65 HR 14	195/65 HR 15	195/65 HR 15	34
Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	35

País		Alemania											
Marca del vehículo		Ford (Fonts)	Mercedes-Benz										
Modelo		Galaxy 2.0 16 V	C180	C220	E200	E320	E 220 Diesel	E 290 Turbodiesel	E 320 C	S 420	S 600	SL 320	SL 500
1 Carrocería		5 Gli 5-8	4 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	2 Ca 4/5	4 Li 5	4 Li 5	2 Ro 2 + 2	2 Ro 2 + 2
2 Potencia útil	kW(CV)	85 (115)	90 (122)	110 (150)	100 (136)	162 (220)	70 (95)	95 (129)	162 (220)	205 (279)	290 (394)	170 (231)	235 (320)
a nº revol. del motor	min^{-1}	5500	5500	5500	5500	5500	5000	4000	5500	5700	5200	5600	5600
3 Par de giro máx.	Nm	167	170	210	190	310	150	300	310	400	570	315	470
a nº revol. del motor	min^{-1}	2300	4200	4000	4000	3850	3100-4500	1800-4200	3750	3900	3800	3750	3900
4 Velocidad máxima	km/h	177	193	210	205	235	180	195	235	245	250	240	250
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	12,9	12,2	10,4	11,4	7,8	17,0	11,5	8,3	8,3	6,6	8,4	6,5
6 Peso en vacío	kg	1560	1280	1340	1440	1600	1460	1540	1500	1990	2180	1780	1800
7 Peso total admitido	kg	2350	1830	1890	1940	2130	1960	2040	1985	2640	2710	2170	2190
8 Relación peso/potencia	kg/kW	18,3	14,2	12,2	14,4	9,9	20,9	16,2	9,3	9,7	7,5	10,5	7,7
9 Consumo combustible	l/100km	6,9/8,6/12,0	6,4/8,1/11,0	6,5/8,1/11,5	6,1/7,6/10,9	8,3/9,9/12,9	5,0/6,5/8,3	5,4/6,8/9,1	8,2/10,0/14,7	9,7/11,7/16,0	11,8/13,7/20,7	8,5/10,0/14,4	9,6/11,5/16,0
10 Tipo de combustible		95	95	95	95	95	Diesel	Diesel	98	95	95	95	95
11 Capacidad del depósito	l	75	62	62	65	80	65	65	70	100	100	80	80
12 Cilindrada	cm^3	1998	1799	2199	1998	3199	2155	2874	3199	4196	5987	3199	4973
13 Diám. cilindro/carrera	mm	86/86	85,3/78,7	89,9/86,6	89,9/78,7	89,9/84,0	87,0/84,0	89,0/92,4	89,9/84	92/78,9	89/80,2	89,9/84	96,5/85
14 Relación de compresión		9,8	9,8	10	9,6	10	22	19,5	10	11	10	10	10
15 Potencia cilindrada	kW/l	42,5	50	50	50	50,6	32,5	33,1	50,6	48,9	48,4	53,1	47
16 Forma motor		q 4 R, 4 Ve	4 R, 4Ve	4 R, 4Ve	4 R, 4Ve	6 R, 4Ve	4 R, 4 Ve	5 R	6 R, 4 Ve	8 V, 4 Ve	12 V, 4 Ve	6 R, 4 Ve	8 V, 4 Ve
17 Preparación mezcla		El	Motronic	Motronic	Motronic	Motronic	EP/eV	EP/eV, AT	Motronic	LH-Jetronic	LH-Jetronic	Motronic	LH-Jetronic
18 Generador (14 V)	A	90	90	90	90	90	90	90	90	120	120	110	120
19 Batería (12 V)	Ah	48	62	62	62	74	74	74	100	100	100	100	100
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,58/2,05	3,91/2,17	3,91/2,17	3,91/2,17	3,87/2,25	3,91/2,17	3,91/2,17	4,15/2,52	3,87/2,25	3,87/2,25	3,87/2,25	3,87/2,25
	3ª/4ª	1,34/0,97	1,37/1,00	1,37/1,00	1,37/1,00	1,44/1,00	1,37/1,00	1,37/1,00	1,69/1,24	1,44/1,00	1,44/1,00	1,44/1,00	1,44/1,00
	5ª	0,80	0,81	0,81	0,81	(Automático)	0,81	0,81	1,00	(Automatic)	(Automatic)	0,75(Automático)	(Automatic)
22 Reducción eje		4,53	3,91	3,67	3,67	3,07	3,23	3,64	3,06	2,82	2,65	3,69	2,65
23 Tipo de cambio marchas	Man(Aut)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	(4/5)	5 (4)	5	5 (4/5)	(4)	(4)	(5)	(4)
24 Refrigeración		W 7,3	W 8	W 8	W 8,5	W 9	W 8,5	W 9	W 8,5	W 12,5	W 18	W 11	W 15
25 Longitud del vehículo	mm	4615	4485	4485	4795	4795	4795	4795	4655	5115	5115	4470	4470
26 Ancho del vehículo	mm	1800	1720	1720	1799	1799	1799	1799	1740	1885	1885	1810	1810
27 Altura del vehículo	mm	1725	1415	1415	1436	1436	1436	1436	1395	1485	1485	1285	1285
28 Distancia entre ejes	mm	2835	2690	2690	2833	2833	2833	2833	2715	3040	3040	2515	2515
29 Vía delant/tras.	mm	1540/1510	1505/1475	1505/1475	1542/1536	1542/1536	1542/1536	1542/1536	1500/1490	1600/1575	1600/1575	1535/1525	1535/1525
30 Diámetro mín. de giro	m	11,7	10,7	10,7	11,3	11,3	11,3	11,3	10,9	12,2	12,2	10,8	10,8
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	150	150	150	139	139	141	141	160	150	150	150	150
32 Suspensión ruedas del.		DQl-F	DQl-Ku	DQl-Ku	DQu-Sf	DQu-Sf	DQu-Sf	DQu-Sf	DQl-Db-Sf-Ku	Ql-Sf-Ku	Ql-Sf-Ku	DQl-Db-Sf-Ku	DQl-Db-Sf-Ku
33 Suspensión ruedas tras.		Sl-Sf	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku	Ra-Sf	Ra-Sf	Ra-Sf	Ra-Sf	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku	Ea-Ra-Ql-Sl-Sf-Ku
34 Neumáticos		195/65 TR 15	185/65 HR 15	195/65 VR 15	195/65 VR 15	215/55 R 16	195/65 R 15	205/65 R 15	195/65 VR 15	235/60 ZR 16	235/60 ZR 16	225/55 ZR 16	225/55 ZR 16
35 Sistema de frenos		4 Sb-Sv	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS	4 Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

País		Alemania				
Marca del vehículo		Opel				
Modelo		Corsa 1.2 Eco	Corsa 1.5 TD Swing	Tigra 1.4i 16V	Astra 1.4	Astra Cabrio 1.6
1 Carrocería		3/5 Li 5	3/5 Li 5	2 Co 2+2	3/4/5 Li 5	2 Ca 4
2 Potencia útil	kW(CV)	33 (45)	49 (67)	66 (90)	60 (82)	52 (71)
a nº revol. del motor	min^{-1}	4600	4600	6000	5800	5200
3 Par de giro máx.	Nm	88	132	125	113	128
a nº revol. del motor	min^{-1}	2800	2600	4000	3400	2800
4 Velocidad máxima	km/h	145	165	190	175	170
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	20	14	11,5	13	14,5
6 Peso en vacío	kg	855	970	980	975	1120
7 Peso total admitido	kg	1330	1440	1330	1495	1545
8 Relación peso/potencia	kg/kW	25,9	18,6	14,8	16,2	13,4
9 Consumo combustible	l/100km	4,4/6,2/7,2	4,0/5,7/6,0	5,0/6,6/8,7	5,2/6,7/9,1	5,6/7,4/8,7
10 Tipo de combustible		95	Diesel	95	95	95
11 Capacidad del depósito	l	46	46	46	52	52
12 Cilindrada	cm^3	1195	1488	1389	1389	1598
13 Diám. cilindro/carrera	mm	72/73,4	76/82	77,6/73,4	77,6/73,4	79/81,5
14 Relación de compresión		10	22	10,5	9,8	10
15 Potencia cilindrada	kW/l	27,6	32,9	47,5	43,2	34,4
16 Forma motor		q 4 R	q 4 R	q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R
17 Preparación mezcla		El, Ze	EP/V, AT	El	El	El
18 Generador (14 V)	A	55/70	70	70/100	55/70	70/100
19 Batería (12 V)	Ah	36/55	60	44/55	36/44/55/60	44/55
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	v
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,55/1,96	3,55/1,96	3,55/2,14	3,55/1,96	3,55/2,14
	3ª/4ª	1,30/0,89	1,30/0,89	1,43/1,12	1,30/0,95	1,43/1,12
	5ª	0,71	0,71	0,89	0,76	0,89
22 Reducción eje		3,74	3,74	3,74	4,18	3,74
23 Tipo de cambio marchas	Man(Aut)	5/4	5	5 (4)	5 (4)	5 (4)
24 Refrigeración		W 5,9	W 6,3	W 5,6	W 5,8	W 5,6
25 Longitud del vehículo	mm	3730	3730	3920	4050	4240
26 Ancho del vehículo	mm	1610	1610	1810	1695	1695
27 Altura del vehículo	mm	1435	1435	1340	1410	1400
28 Distancia entre ejes	mm	2445	2445	2430	2515	2515
29 Vía delant/tras.	mm	1385/1390	1385/1390	1385/1390	1425/1425	1425/1425
30 Diámetro mín. de giro	m	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	140	140	135	135	135
32 Suspensión ruedas del.		Ql-Ll-F-Sf	Ql-Ll-F-Sf	Ql-Ll-F-Sf-Ku	Ql-Ll-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku
33 Suspensión ruedas tras.		Vla-Sf	Vla-Sf	Vla-Sf-Ku	Vla-Ll-Sf-Ku	Vla-Ll-Sf-Ku
34 Neumáticos		165/70 TR 13	165/70 TR 13	175/65 HR 14	175/70 R 13	175/70 R 13
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

					Porsche		
Astra Caravan 1.8 16V	Vectra 1.8	Vectra 4x4 2.0 16V	Calibra Turbo 4x4	Omega 2.5 24V V6	911 Carrera Cabriolet	911 Turbo	
5 KoLi 5	4/5 Li 5	4 Li 5	3 Co 4	4 Li 5	2 Ca 2+2	2 Co 2+2	1
85 (115)	66 (90)	100 (136)	150 (204)	125 (170)	200 (272)	300 (408)	2
5400	5400	5600	5600	6000	6100	5750	
168	145	185	280	227	330	540	3
4000	3000	4000	2400	3200	5000	4500	
200	183	204	245	223	270	290	4
9,5	12,5	10,5	6,8	10	5,6	4,5	5
1145	1120	1325	1375	1510	1370	1500	6
1640	1650	1835	1760	2065	1735	1840	7
12,7	17	12	9,2	12,1	6,8	5	8
6,1/7,7/9,5	5,8/7,2/10,2	7,2/8,6/11,9	6,9/8,3/11,8	7,0/8,6/11,6	7,5/9,2/17,4	8,2/10,3/21,0	9
95	95	95	95/98	95	98	98	10
50	61	63	63	75	92	92	11
1799	1796	1998	1998	2498	3600	3600	12
81,6/86	84,8/79,5	86/86	86/86	81,6/79,6	100/76,4	100/76,4	13
10,8	9,2	10,8	9	10,8	11,3	8	14
47,2	36,7	50,1	75,1	50	55,5	83,3	15
q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	6 R, 4 Ve	6 Bx	6 Bx	16
El	El	El	Motronic, AT, Lk	Motronic	Motronic	Motronic AT, lc	17
70/100	70/100	70/100/120	70/100/120	100	115	115	18
45/55	44/55/60	44/55/60	44/55/60	55	75	75	19
v	v	aa	aa	h	h-h	h-aa	20
3,58/2,14	3,58/1,88	3,58/1,88	3,57/2,16	3,95/2,19	3,82/2,15	3,82/2,15	21
1,48/1,12	1,23/0,92	1,23/0,92	1,45/1,10	1,39/1,00	1,56/1,24	1,56/1,21	
0,89	0,74	0,74	0,89/0,74	0,85	1,03/0,82	0,97/0,75	
3,57	3,94	v 3,74/h 3,7	v 3,72/h 3,7	3,7	3,44	3,44	22
5 (4)	5 (4)	5	6	5 (4)	6 (4)	6	23
W 6,9	W 7,2	W 7,2	W 7,2	W 9,7	Luft	Luft	24
4280	4430	4430	4490	4790	4245	4245	25
1695	1705	1705	1690	1785	1735	1795	26
1475	1400	1400	1320	1455	1300	1285	27
2515	2600	2600	2600	2730	2270	2270	28
1425/1425	1400/1425	1425/1445	1425/1445	1515/1530	1405/1445	1410/1505	29
10,5	11	11	11,5	11	11,7	11,7	30
135	140	140	140	140	120	90	31
DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	32
Vla-Ll-Sf-Ku	Vla-Ll-Sf-Ku	Ea-Sl-Sf-Ku	Ea-Sl-Sf-Ku	Ea-Sl-Sf-Ku	Ea-Ma-DQl-Ql-Sl-Sf-Ku	Ea-Ma-DQl-Ql-Sl-Sf-Ku	33
175/65 HR 14	175/70 TR 14	195/60 VR 14	205/50 ZR 16	205/65 VR 15	(1)	(2)	34
4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	35

(1) Delante 205/55 ZR 16; Detrás 245/45 ZR 16; (2) Delante 225/40 ZR 18; Detrás 285/30 ZR 18.

País		Alemania				
Marca del vehículo		Porsche	BMW (Volkswagen)			
Modelo		(Fonts.) 968	Polo 1.05	Polo 1.6	Golf 1.4	Golf 2.9 VR6 Symcro
1 Carrocería		3 Co 2+2	3/5 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5
2 Potencia útil	kW(CV)	176 (240)	33 (45)	55 (75)	44 (60)	140 (190)
a nº revol. del motor	min^{-1}	6200	5200	5200	5200	5800
3 Par de giro máx.	Nm	305	76	128	107	245
a nº revol. del motor	min^{-1}	4100	2800-3200	2800-3400	2800-3200	4200
4 Velocidad máxima	km/h	252	145	172	157	224
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	6,5	21,4	12,5	16,7	7,5
6 Peso en vacío	kg	1370	880	915	1000	1410
7 Peso total admitido	kg	1730	1375	1400	1505	1800
8 Relación peso/pot.	kg/kW	7,8	26,7	16,6	22,7	9,5
9 Consumo combus.	l/100km	7,2/8,8/14,8	5,3/7,1/7,5	5,3/7,2/8,6	5,4/7,4/8,2	7,8/9,5/14,1
10 Tipo de combustible		98	95	95	91	98
11 Capacidad del dep.	l	74	45	45	55	55
12 Cilindrada	cm^3	2990	1043	1598	1391	2861
13 Diám. cilindro/carrera	mm	104/88	75/59	76,5/86,9	75/78,7	82/90,3
14 Relación de compr.		11	10	9,8	9,2	10
15 Potencia cilindrada	kW/l	58,9	31,7	34,4	31,6	49
16 Forma motor		4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 6 V, R
17 Preparación mezcla		Motronic	Mono-Motronic	Mono-Motronic	Mono-Motronic	Motronic
18 Generador (14 V)	A	115	70	70	70	70
19 Batería (12 V)	Ah	63	36/44	44	44	60
20 Tipo transmisión (posición del motor)		h	v	v	v	aa
21 Reduc. de engranages (cambio manual)	1ª/2ª	3,182/2,00	3,45/2,10	3,45/2,10	3,45/1,84	3,63/2,07
	3ª/4ª	1,35/1,11	1,45/1,10	1,45/1,10	1,13/0,81	1,47/1,04
	5ª	0,912/0,778	0,89	0,89		0,84
22 Reducción eje		3,778	4,27	3,59	4,27	3,89
23 Tipo de cambio mar.	Man(Aut)	6 (4)	5	5	4/5	5
24 Refrigeración		W 14	W 6	W 6	W 6,3	W 12
25 Longitud del vehículo	mm	4320	3715	3715	4020	4020
26 Ancho del vehículo	mm	1735	1655	1655	1695	1695
27 Altura del vehículo	mm	1275	1420	1420	1425	1425
28 Distancia entre ejes	mm	2400	2400	2400	2475	2475
29 Vía del./tras.	mm	1472/1450	1365/1400	1350/1385	1480/1450	1450/1430
30 Diámetro mín. de giro	m	10,75	10,1	10,1	10,7	10,7
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	125	110	110	130	130
32 Suspensión rued. del.		Ql-F	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F	DQl-F-Ku
33 Suspensión rued. tras.		Ea-Sl	Vla-Sf	Vla-Sf	Vla-Sf	Vla-Sf-Sl-Ku
34 Neumáticos		(1)	155/70 TR 13	175/65 TR 13	175/70 TR 13	205/50 VR 15
35 Sistema de frenos		4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823. (1) Delante 205/55 ZR 16; Detrás 225/50 ZR 16

Golf Variant 1.9 TDI	Vento 1.8	Golf Cabrio 2.0	Corrado 2.0	Passat 2.0	Passat 1.9 TD Variant	Sharan 2.8 VR6	
5 Ko 5	4 Li 5	2 Ca 4	3 Co 5	4 Li 5	5 Ko 5	5 Gli 5-8	1
66 (90)	66 (90)	85 (115)	100 (136)	110 (150)	55 (75)	128 (174)	2
4000	5500	5400	5800	6000	4400	5800	
202	145	166	180	180	150	235	3
1900	2500	3200	4400	4800	2400-3400	4200	
175	178	190	210	213	160	160	4
13,4	12,7	11,2	9,3	9,7	18,3	18	5
1195	1105	1205	1175	1315	1280	1670	6
1695	1590	1620	1545	1860	1790	2470	7
17	16,7	14,2	11,7	12	22,9	13,1	8
4,1/5,7/6,0	5,6/7,5/9,7	6,2/7,9/10,5	6,0/7,6/12,3	6,3/7,9/11,4	4,9/7,0/7,9	7,8/9,8/14,2	9
Diesel	95	95	95	95	Diesel	95	10
60	55	55	70	70	70	75	11
1896	1781	1984	1984	1984	1896	2792	12
79,5/95,5	81/86,4	82,5/92,8	82,5/92,8	82,5/92,8	79,5/95,5	81/90,3	13
19,5	10	10,4	10,8	10,5	22,5	10,1	14
34,8	37,1	42,8	50,4	55,4	29	45,9	15
q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 6 V, R	16
EP/ev, AT, Lk	Mono-Motronic	Digifant	KE-Motronic	Digifant	EP/V, AT	Motronic	17
120	70	60	60	70	70	90	18
61	44	44	44/60	44	61	60	19
v	v	v	v	v	v	v	20
3,3/1,94	3,45/1,94	3,45/1,94	3,78/2,12	3,78/2,12	3,78/2,12	3,58/2,05	21
1,31/0,92	1,37/1,03	1,29/0,97	1,46/1,03	1,46/1,03	1,36/0,92	1,35/0,97	
0,72	0,85	0,80	0,84	0,84	0,72	0,81	
3,16	3,67	3,67	3,67	3,68	3,94	4,06	22
5	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5	5	5 (4)	23
W 6,3	W 6,3	W 6,3	W 5	W 5	W 5	W 6,3	24
4340	4380	4020	4050	4605	4595	4620	25
1695	1695	1695	1690	1720	1720	1810	26
1430	1405	1400	1320	1430	1445	1730	27
2475	2475	2475	2470	2625	2625	2835	28
1480/1465	1465/1450	1465/1430	1450/1430	1480/1420	1480/1420	1500/1500	29
10,7	10,7	10,7	10,5	10,7	10,7	11,7	30
130	130	130	110	110	110	150	31
DQl-F	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F	DQl-F	32
Vla-Sf	Vla-Sf, (Gt con Ku)	Vla-Sf	Vla-Sf-Ku	Vla-Sf-Ku	Vla-Sf	VSl	33
185/60 TR 14	185/60 HR 14	185/60 HR 14	195/50 VR 15	205/50 VR 15	185/65 TR 14	205/60 HR 15	34
Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv, (GT con Sb)	Sb-Tb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	35

País		Francia				
Marca del vehículo		Citroen				
Modelo		AX 1.0i	AX 1.4i	ZX 1.6i	ZX Break 1.9 Diesel	Xantia 1.8i
1 Carrocería		3/5 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5	5 Ko 5	5 Li 5
2 Potencia útil	kW(CV)	37 (50)	55 (75)	65 (89)	52 (71)	76 (103)
a nº revol. del motor	min^{-1}	6000	5800	6000	4600	6000
3 Par de giro máx.	Nm	73	113	130	123	157
a nº revol. del motor	min^{-1}	3700	4000	2600	2000	3000
4 Velocidad máxima	km/h	151	173	177	161	188
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	17,4	11,9	13,1	18,7	12,5
6 Peso en vacío	kg	690	770	1025	1090	1175
7 Peso total admitido	kg	1150	1225	1550	1650	1745
8 Relación peso/potencia	kg/kW	18,6	14	15,5	19,7	15,5
9 Consumo combustible	l/100km	4,5/6,3/6,5	5,0/6,7/7,7	5,6/7,5/9,7	4,4/5,9/6,6	5,5/7,1/10,3
10 Tipo de combustible		95/98	95/98	95/98	Diesel	95/98
11 Capacidad del depósito	l	43	43	54	54	65
12 Cilindrada	cm^3	954	1361	1580	1905	1761
13 Diám. cilindro/carrera	mm	70/62	75/77	83/73	83/88	83/81,4
14 Relación de compresión		9,4	9,3	9,25	23	9,25
15 Potencia cilindrada	kW/l	38,8	40,4	41,8	27,4	43,2
16 Forma motor		q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R
17 Preparación mezcla		Mono-Motronic	Mono-Jetro-nic	EI	EP/V	Motronic
18 Generador (14 V)	A	70/50	70/50	80	50/70	80/70
19 Batería (12 V)	Ah	25/35	25/35	34/45	50/60/67/83	44/55
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	v
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª 3ª/4ª 5ª	3,42/1,81 1,13/0,81	3,42/1,81 1,28/0,98 0,767	3,46/1,87 1,28/0,95 0,745	3,46/1,87 1,28/0,97 0,757	3,46/1,87 1,36/1,07 0,80
22 Reducción eje		4,06	3,76/3,94	4,06/3,53	3,69/3,8	4,19/3,81
23 Tipo de cambio marchas	Man(Aut)	4/5	5	5	5 (4)	5 (4)
24 Refrigeración		W 4,8	W 4,8	W 7,5	W 8,5	W 7
25 Longitud del vehículo	mm	3525	3525	4070	4275	4445
26 Ancho del vehículo	mm	1555	1555	1690	1685	1755
27 Altura del vehículo	mm	1355	1345	1400	1450	1385
28 Distancia entre ejes	mm	2280	2305	2540	2540	2740
29 Ancho vía delant/tras.	mm	1380/1300	1370/1290	1420/1415	1420/1415	1480/1450
30 Diámetro mín. de giro	m	9,9	10,2	10,7	10,5	11
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	110	140	110	110	160
32 Suspensión ruedas del.		DQl-Sf-F	DQl-Sf-F-Ku	DQl-Sf-F	DQl-Sf-F	Hf-DQl-F-Ku
33 Suspensión ruedas tras.		Ea-Ll-Tlq	Ea-Ll-Tlf	Ea-Ll-Tlf	Ea-Ll-Tlf	Hf-Ea-Ll-Ku
34 Neumáticos		145/70 SR 13	155/70 SR 13	175/65 TR 14	165/70 TR 13	175/70 TR 14
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

				Peugeot			
Xantia 2.0i 16 V	XM 2.0i Turbo CT	XM 2.1 Diesel Turbo Break	Evasion 2.0i	106 1.1i	205 1.6i	306 1.8i Cabriolet	
5 Li 5	5 Li 5	5 Ko 5	5 Gli 5-8	3/5 Li 5	3/5 Li 5	2 Ca 5	1
110 (150) 6500	110 (150) 5300	81 (110) 4300	90 (123) 5750	44 (60) 6200	65 (88) 6400	74 (101) 6000	2
186 3500	240 2500	243 2000	172 2650	88 3700	128 3000	153 3000	3
213	215	184	177	165	167	183	4
10,6	9,3	14,2	14,6	19	14	12,7	5
1325	1415	1515	1510	780	885	1220	6
1835	1970	2450	2300	1200	1310	1570	7
12	12,9	17,8	16,8	17,7	13,6	14,2	8
6,4/8,2/12,2	7,1/8,9/12,7	5,0/6,6/7,9	7,2/9,4/11,8	5,1/6,7/7,4	5,9/8,0/9,6	5,8/7,3/10,1	9
95/98	95/98	Diesel	95/98	95	95	95	10
65	80	80	80	45	50	60	11
1998	1998	2088	1998	1124	1580	1762	12
86/86	86/86	85/92	86/86	72/69	83/73	83/81,4	13
10,4	8	21,5	9,5	9,4	9,4	9,25	14
55,1	55,1	38,8	45	39,1	41,1	42	15
q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R, 3 Ve	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	16
Motronic	Motronic, AT	EP/V, AT, Ic	EI	Mono-Jetronic	Mono-Jetronic	Motronic	17
80/70	70/80/90	70/80/90	70/80	50/70	55	80	18
44/55	66	88/92	45/55/65	43	43/55	55	19
v	v	v	v	v	v	v	20
3,455/1,870 1,360/1,070 0,800	3,17/1,82 1,25/0,97 0,767	3,42/1,94 1,25/0,88 0,674	3,46/1,87 1,28/0,95 0,745	3,42/1,95 1,36/1,05 0,85	2,51/1,42 1,04/0,77 (Automatic)	3,46/1,85 1,28/0,97 0,76	21
4,27	4,21	3,94	4,53	3,94	3,82	3,69	22
5 (4)	5 (4)	5 (4)	5	5	(4)	5 (4)	23
W 8	W 10	W 10	W 8,5	W 6	W 6,7	W 7,5	24
4445	4710	4965	4455	3565	3705	4145	25
1755	1795	1795	1820	1575	1570	1690	26
1385	1390	1465	1710	1370	1350	1355	27
2740	2850	2850	2825	2385	2420	2540	28
1480/1450	1520/1445	1520/1445	1535/1540	1380/1300	1385/1345	1455/1430	29
11,4	11,7	12,5	11,7	11,2	10,3	11,3	30
160	140	140	–	120	120	110	31
Hf-DQl-F-Ku	Hf-DQl-F-Ku	Hf-DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	Ql-F-Ku	DQl-F-Sf	32
Hf-Ea-Ll-Ku	Hf-Ea-Li-Ku	Hf-Ea-Li-Ku	Vla-P-Sf--Ku	Ea-Tfq-Li	Ea-Tfg-Ll	Ea-Tfq-Ll	33
205/55 VR 15	205/60 VR/ HR 15	195/65 HR 15	195/65 TR 15	145/70 TR 13	165/70 TR 13	185/60 HR 14	34
4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	35

País		Francia				
Marca del vehículo		Peugeot *(Continuación)*				
Modelo		306 1.9 Diesel	405 2.0i Break	405 2.0i T16	605 20i 16 V	605 2.5 Diesel Turbo
1 Carrocería		4/3/5 Li 5	5 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	4 Li 5
2 Potencia útil	kW(CV)	51 (69)	89 (121)	144 (196)	98 (133)	95 (129)
a nº revol. del motor	min⁻¹	4600	5750	5000-6500	5500	4300
3 Par de giro máx.	Nm	120	176	288	180	285
a nº revol. del motor	min⁻¹	2000	2750	2600-4500	4200	2000
4 Velocidad máxima	km/h	158	197	235	205	201
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	16,9	11,3	7,1	10,9	12,1
6 Peso en vacío	kg	1100	1170	1340	1415	1570
7 Peso total admitido	kg	1625	1650	1820	1900	2030
8 Relación peso/potencia	kg/kW	15,2	12,8	9,3	14,4	15,5
9 Consumo combustible	l/100km	4,6/6,37,0	5,9/7,4/11,0	7,3/9,0/11,8	6,5/8,0/11,6	5,1/6,8/9,2
10 Tipo de combustible		Diesel	95	95	95	Diesel
11 Capacidad del depósito	l	60	70	67	80	80
12 Cilindrada	cm³	1905	1998	1998	1998	2446
13 Diám. cilindro/carrera	mm	83/88	86/86	86/86	86/86	92/92
14 Relación de compresión		23	9,5	8	11	22
15 Potencia cilindrada	kW/l	26,8	44,5	72,1	49,1	38,8
16 Forma motor		q 4 R	q 4 R	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 3 Ve
17 Preparación mezcla		EP/V	EI	EI, AT, Lk	Motronic	EP/eV, AT, Lk
18 Generador (14 V)	A	53	70	70	70	120
19 Batería (12 V)	Ah	50	45/70	45/50	55/62/66	74
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	aa	v	v
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,46/1,85	3,46/1,87	3,42/1,82	3,46/1,87	3,42/1,86
	3ª/4ª	1,28/0,97	1,36/1,05	1,25/0,97	1,28/0,95	1,18/0,86
	5ª	0,76	0,80	0,77	0,74	0,64
22 Reducción eje		3,94	3,69	3,93	4,27	4,06
23 Tipo de cambio marchas	Man(Aut)	5	5 (4)	5	5 (4)	5
24 Refrigeración		W 7,8	W 7	W 7	W 7,8	W 13
25 Longitud del vehículo	mm	4230	4400	4410	4765	4765
26 Ancho del vehículo	mm	1690	1695	1715	1800	1800
27 Altura del vehículo	mm	1380	1480	1390	1415	1415
28 Distancia entre ejes	mm	2580	2670	2670	2800	2800
29 Vía delant/tras.	mm	1460/1435	1450/1440	1460/1355	1525/1530	1525/1530
30 Diámetro mín. de giro	m	11	11	11,4	12	12
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	110	145	140	100	100
32 Suspensión ruedas del.		DQl-F-Sf	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku
33 Suspensión ruedas tras.		Ea-Tfq-Ll	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku
34 Neumáticos		175/70 TR 13	185/65 HR 14	205/50 ZR 16	195/65 HR 15	205/65 VR 15
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

	Renault						
806 2.0i Turbo	Twingo 1.2	Clio 1.4i	Clio 1.9 Diesel	19 1.8i Cabriolet	19 1.9 TD	Laguna 2.0i	
5 gli-5-8	3 Li 4	3/5 Li 5	3/5 Li 5	2 Ca 5	5/3/4 Li 5	5 Li 5	1
108 (147)	40 (55)	59 (80)	47 (64)	69 (94)	66 (90)	83 (113)	2
5300	5300	6000	4500	5750	4250	5250	
235	90	109	121	142	175	168	3
2500	2800	3500	2250	2750	2250	3500	
195	150	175	161	183	183	200	4
							5
11	14	10,9	14,8	10,7	11,3	10,6	
1650	790	850	910	1125	1070	1245	6
2340	1190	1295	1350	1495	1555	1775	7
15,3	19,7	14,4	18,8	12,6	16,1	14,7	8
7,6/9,8/12,8	5,1/7,0/7,4	5,2/6,9/8,3	4,1/5,7/6,6	6,0/7,8/10,6	4,5/6,2/6,9	6,4/8,0/11,3	9
95/98	95	95	Diesel	95	Diesel	–	10
80	40	43	43	55	55	66	11
1998	1239	1390	1870	1794	1870	1998	12
86/86	74/72	75,8/77	80/93	82,7/83,5	80/93	83/93	13
8,5	9,2	9,5	21,5	9,7	20,5	9,5	14
54,1	32,3	42,4	25,1	38,4	35,3	41,5	15
q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	16
Motronic, AT, lc	Ze	Mono-Jetronic	EP/V	Mono-Jetronic	EP/V	EI	17
120	60	60	70	70	70	60/80	18
55	40	40	70	50	70	50/60	19
v	v	v	v	v	v	v	20
3,42/1,82	3,73/2,05	3,73/2,05	3,73/2,05	3,09/1,86	3,73/2,05	3,72/2,05	21
1,25/0,97	1,32/0,97	1,32/0,97	1,32/0,97	1,32/0,97	1,32/0,97	1,32/0,97	
0,77	0,79	0,79	0,79	0,76	0,76	0,79	
4,21	3,73	3,56	3,29	4,21	3,29	3,87	22
5	5	5 (4)	5	5 (4)	5	5 (4)	23
W 8,5	W 6,7	W 5,8	W 7,4	W 6,6	W 7,4	W 7,1	24
4455	3435	3710	3710	4160	4250	4510	25
1835	1630	1615	1615	1685	1695	1750	26
1715	1425	1395	1395	1410	1410	1435	27
2825	2345	2470	2470	2540	2545	2670	28
1535/1540	1415/1375	1360/1325	1360/1335	1420/1405	1420/1415	1480/1470	29
11,3	10	10,6	10,6	11	11	10,8	30
–	120	120	120	120	120	120	31
DQl-F-Ku	DQl-F	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Ku	32
Vla-Ll-P-Sf-Ku	Vla-Ll-Sf	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku	Ea-Tfq-Ll-Ku	33
205/65 HR 15	145/70 SR 13	165/65 TR 13	155/70 TR 13	175/65 HR 14	175/70 TR 13	185/65 TR 14	34
4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	35

País		Francia				Gran Bretaña
Marca del vehículo		Renault (*Continuación*)				Bentley
Modelo		Safrane 2.0i	Safrane 2.2i	Safrane 3.0i	Espace 2.1 Turbodiesel	Turbo S
1 Carrocería		5 Li 5	5 Li 5	5 Li 5	5 Gli 5-7	4 Li 5
2 Potencia útil	kW(CV)	77 (105)	79 (107)	123 (167)	65 (88)	300 (408)
a n° revol. del motor	min^{-1}	5000	5000	5500	4250	4100
3 Par de giro máx.	Nm	155	175	235	184	800
a n° revol. del motor	min^{-1}	2500	2500	4500	2000	2000
4 Velocidad máxima	km/h	189	189	220	162	250
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	12,5	11,9	9,6	15	6,1
6 Peso en vacío	kg	1370	1380	1465	1340	2470
7 Peso total admitido	kg	1890	1860	1990	2000	2970
8 Relación peso/pot.	kg/kW	17,3	17,5	11,9	21,1	–
9 Consumo combus.	l/100km	6,8/8,4/11,3	7,0/8,6/11,7	8,2/10,1/15,5	5,9/8,2/8,4	10,6/13,3/25,6
10 Tipo de combustible		95	95	95	Diesel	–
11 Capacidad del dep.	l	80	80	80	77	108
12 Cilindrada	cm^3	1995	2165	2963	2068	6750
13 Diám. cilindro/carrera	mm	88/82	88/89	93/72,7	86/89	104,14/99,06
14 Relación de compr.		9,2	9,2	9,6	21	8
15 Potencia cilindrada	kW/l	38,6	36,5	41,5	31,4	–
16 Forma motor		4 R	4 R	6 V	4 R	8 V
17 Preparación mezcla		El	El	El	EP/V,AT,Lk	Motronic,AT,Lk
18 Generador (14 V)	A	80/110	80/110	80/110	70	108/120
19 Batería (12 V)	Ah	60/65	60/65	60/65	66	68/71
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	h
21 Reduc. de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª 3ª/4ª 5ª	3,91/2,21 1,39/0,98 0,76	3,91/2,21 1,39/0,98 0,76	3,91/2,21 1,48/1,10 0,89	4,09/2,18 1,41/1,03 0,86	2,48/1,48 1,00/0,75 (Automatic)
22 Reducción eje		3,74	3,74	3,43	3,22	2,69
23 Tipo de cambio mar.	Man(Aut)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5	(4)
24 Refrigeración		W 7,1	W 7	W 10	W 8,5	W 18
25 Longitud del vehículo	mm	4735	4735	4735	4430	5270
26 Ancho del vehículo	mm	1820	1820	1820	1795	1885
27 Altura del vehículo	mm	1445	1445	1445	1695	1485
28 Distancia entre ejes	mm	2765	2765	2765	2580	3060
29 Vía del./tras.	mm	1530/1480	1530/1480	1500/1500	1485/1505	1550/1560
30 Diámetro mín. de giro	m	11,4	11,4	11,4	11,6	11,7
31 Alt. libre sobre el sue.	mm	120	120	120	125	135
32 Suspensión rued. del.		DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-Ql-Sf-Ku	DQl-Sf-Ku
33 Suspensión rued. tras.		Ea-DQu-Sf-Ku	Ea-DQu-Sf-Ku	Ea-DQu-Sf-Ku	Sa-Ll-P-Sf	Ea-Sl-Sf-Ku
34 Neumáticos		185/70 TR 14	185/70 TR 14	195/65 VR 15	195/65 TR 14	255/55 WR 17
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

Daimler	Jaguar	Rolls-Royce	Rover				
Six 4.0-6	XJR 4.0 Super Charged	Silver Spirit III	114	216 16 V	420 16 V Tourer	620 ti 16 V Turbo	
5 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	2 Ca 4	5 Li 5	5 Ko 5	4 Li 5	1
183 (249) 4800	240 (326) 4800	180 (245) 4000	55 (75) 5500	82 (111) 6300	100 (136) 6000	147 (200) 6000	2
392 4000	512 3050	500 2000	117 4000	137 5200	185 2500	240 2100	3
230	250	215	166	190	201	230	4
7,4	6,3	9,8	11,8	(0 – 97 km/h) 9,5	(0 – 97 km/h) 8,2	–	5
1825	1875	2430	840	1065	1200	1355	6
2245	2295	2930	1310	1580	1700	–	7
10	7,8	–	15,3	13,4	11,8	9,2	8
8,3/10,4/16,2	8,1/10,3/16,8	11,6/14,7/25,0	5,0/6,8/8,0	7,0/9,0/9,8	5,8/7,4/10,8	6,1/7,9/11,4	9
95/98	95	–	95	95	95	95	10
81	81	108	35,5	55	55	65	11
3980	3980	6750	1396	1590	1994	1994	12
91/102	91/102	104,14/99,06	75/79	75/90	84,45/89	84,45/89	13
10	8,5	8	9,75	9,1	10	8,5	14
46	60,3	–	39,4	51,6	50,2	73,7	15
6 R, 4 Ve	6 R	8 V	q 4 R	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	16
El	El, Kom, Ic	Motronic	Ze	El	El	El, AT, Ic	17
90/120/140	90/120/140	124	55	65	65	50-80	18
72/92	72/92	68/71	35	45	45	47-65	19
h	h	h	v	v	v	v	20
3,55/2,04 1,40/1,00 0,755	3,55/2,04 1,40/1,00 0,755	2,48/1,48 1,00/0,75 (Automatic)	3,42/1,95 1,33/1,05 0,854	3,25/1,89 1,26/0,94 0,77	2,92/1,75 1,22/0,94 0,765	3,16/1,84 1,30/1,03 0,76	21
3,58	3,27	3,07	3,56	4,44	4,2	3,94	22
5 (4)	5 (4)	(4)	5 (CVT-Aut.)	5 (4)	5	5	23
W 12,3	W 12,3	W 18	W 5,5	W 4,4	W 6	W 7,4	24
5025	5025	5270	3520	4220	4370	4650	25
1800	1800	1885	1560	1680	1680	1720	26
1360	1350	1485	1380	1400	1400	1380	27
2870	2870	3060	2270	2550	2550	2720	28
1500/1500	1500/1500	1535/1535	1340/1295	1480/1470	1480/1470	1480/1480	29
12,4	12,1	12,1	9,8	10,2	10,2	11,8	30
115	100	135	120	150	150	160	31
DQl-Sf-Ku	DQl-Sf-Ku	DQl-Sf-Ku	DQl-Hv	Ql-F-Sf-Ku	Ql-F-Sf-Ku	DQl-Ql-Sf-Ku	32
DQl-Sf	DQl-Sf	Ea-Sl-Sf- Ku	Ea-Ll-Hv	Ea-Ql-Ls-Zl-Sf	Ea-Ql-Ls-Zl-Sf-Ku	Ea-Ql-Ll-Sf-Ku	33
225/60 Zr 16	255/45 ZR 17	235/70 VR 15	155/65 R 13	175/65 HR 14	185/55 VR 15	205/50 ZR 16	34
4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	35

País		Italia				
Marca del vehículo		Alfa Romeo				Ferrari
Modelo		145	146 2.0 TD	155 1.7 T. Spark	Spider 2.0 T. Spark	F 50
1 Carrocería		3 Li 5	5 Li 5	4 Li 5	2 Ca 2	2 Ca/Co 2
2 Potencia útil	kW(CV)	66 (90)	66 (90)	85 (115)	110 (150)	382 (520)
a nº revol. del motor	min^{-1}	6000	4100	5800	6200	8500
3 Par de giro máx.	Nm	115	186	152	187	471
a nº revol. del motor	min^{-1}	4400	2400	3500	4000	6500
4 Velocidad máxima	km/h	178	179	193	210	325
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	12,5	12	10,8	8,4	3,87
6 Peso en vacío	kg	1140	1210	1250	1370	1230
7 Peso total admitido	kg	1670	1730	1705	1630	–
8 Relación peso/potencia	kg/kW	17,3	18,3	14,9	12,4	3,2
9 Consumo combustible	l/100km	6,3/8,2/10,1	5,0/6,8/6,9	6,4/8,3/9,5	6,2/7,8/10,4	12,0-25,0
10 Tipo de combustible		95	Diesel	95	95	98
11 Capacidad del depósito	l	51	51	63	70	105
12 Cilindrada	cm^3	1351	1929	1749	1970	4698
13 Diám. cilindro/carrera	mm	80/67,2	82,6/90	83,4/80	83/91	85/69
14 Relación de compresión		9,5	19,2	10	10	11,3
15 Potencia cilindrada	kW/l	48,8	34,2	48,6	55,8	81,3
16 Forma motor		4 Bx	4 R	q 4 R	q 4 R	Mm 12 V, 5 Ve
17 Preparación mezcla		El	EP/V, AT, lc	Motronic	Motronic	Motronic
18 Generador (14 V)	A	80	65	80	80	140
19 Batería (12 V)	Ah	50	60	45/55	55	65
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	h
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,55/2,05	3,91/2,24	3,55/2,24	3,45/2,24	2,930/2,160
	3ª/4ª	1,32/1,03	1,44/1,03	1,52/1,16	1,52/1,16	1,680/1,360
	5ª	0,854	0,794	0,946	0,946	1,110/0,903
22 Reducción eje		4,11	3,17	3,563	3,56	3,7
23 Tipo de cambio marchas	Man(Aut)	5	5	5	5	6
24 Refrigeración		W 7,8	W 8,9	W 8,3	W 8,5	W 20
25 Longitud del vehículo	mm	4095	4250	4445	4285	4480
26 Ancho del vehículo	mm	1710	1710	1730	1780	1985
27 Altura del vehículo	mm	1425	1425	1440	1320	1120
28 Distancia entre ejes	mm	2540	2540	2540	2540	2580
29 Vía delant/tras.	mm	1470/1440	1470/1440	1495/1440	1500/1485	1620/1600
30 Diámetro mín. de giro	m	10,3	11	10,5	11,3	12,6
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	120	120	140	120	–
32 Suspensión ruedas del.		DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Db
33 Suspensión ruedas tras.		Ea-Ll-Sf-Ku	Ea-Ll-Sf-Ku	Ea-Ll-Sf-Ku	Ea-Ma-Sf-Ku	Ea-DQl-F-Db
34 Neumáticos		175/65 TR 14	175/65 TR 14	185/60 HR 14	195/60 ZR 15	(1)
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823. (1) Delante 245/35 ZR 18; Detrás

Fiat							
Cinquecento 1100	Uno 1.4	Uno 1.4 Turbo Diesel	Punto 1.6	Tipo 1.4	Tempra 2.0	Croma 2.0	
3 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5	4 Li 5	5 Li 5	1
40 (54)	52 (71)	53 (72)	66 (90)	77 (105)	85 (115)	103 (140)	2
5500	6000	4800	5750	6000	5750	6000	
86	108	131	130	140	159	183	3
3250	3000	2500	2750	3000	3300	4500	
150	165	168	178	183	195	200	4
13,8	12,4	12,4	11,5	12	10,1	10,1	5
735	830	910	990	1140	1190	1285	6
1150	1270	1360	1450	1650	1720	1785	7
18,4	16	17,2	14,6	14,8	14	12,5	8
4,7/6,3/7,5	5,6/7,2/9,4	4,2/6,0/6,0	6,0/8,0/9,5	6,9/8,5/11,0	6,8/8,4/11,4	7,0/8,9/11,7	9
95	95	Diesel	95	95	95	95	10
35	40	42	47	51	62	65	11
1108	1372	1367	1581	1756	1995	1995	12
70/72	80,5/67,4	78/71,5	86,4/67,4	84/79,2	84/90	84/90	13
9,6	9,2	20	9,5	9,5	9,5	10,3	14
36,1	37,9	38,7	41,8	43,9	42,6	51,6	15
q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	16
Ze	Ze	EP/V, AT, Lk	El	El	El	Motronic	17
65	45	55	65	65	65	120	18
40	32/40	55/60	40/50	55/60	60	60	19
v	v	v	v	v	v	v	20
3,91/2,16	3,91/2,16	3,91/2,24	3,91/2,16	3,55/2,24	3,55/2,24	3,75/2,18	21
1,48/1,12	1,34/0,97	1,47/1,04	1,48/1,12	1,44/1,16	1,54/1,16	1,52/1,13	
0,83	0,83	0,794	0,9	0,875	0,875	0,917	
3,87	3,56	3,76	3,73	3,73	3,563	3,563	22
5	5	5	5/6	5 (sin etapas)	5 (4)	5 (4)	23
W 4,8	W 6,2	W 8,9	W 4,6	W 6,9	W 6,9	W 9	24
3225	3690	3690	3760	3960	4355	4520	25
1485	1560	1560	1625	1700	1695	1760	26
1435	1420	1420	1450	1440	1440	1430	27
2200	2360	2360	2450	2540	2540	2660	28
1265/1255	1345/1300	1350/1310	1370/1350	1430/1415	1425/1415	1495/1485	29
8,8	9,4	9,4	10,2	10	10,3	10,6	30
150	150	150	150	150	150	140	31
DQl-F	Ql-F-Ku	Ql-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	32
Ea-Sl-Sf	Vla-Sf	Vla-Sf	Ea-Ll-Sf-Ku	Ea-Ll-Sf-Ku	Ea-Ll-Sf-Ku	Ea-Ql-Sf	33
155/65 SR 13	165/65 SR 13	155/70 SR 13	165/65 TR 14	185/60 HR 14	185/60 HR 14	195/60 HR 15	34
Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	35

País		Italia				
Marca del vehículo		**Fiat** (*Cont.*)	**Lancia**			
Modelo		Ulysse 2.0 Turbo	Y 10 1.1 i.e.	Delta 1.6 i.e	Dedra 2.0 i.e.	Kappa 2.0 i.e. 20V
1 Carrocería		5 Gli 5-7	3 Li 5	3/5 Li 5	4 Li 5	4 Li 5
2 Potencia útil	kW(CV)	108 (147)	40 (55)	55 (75)	83 (113)	107 (145)
a nº revol. del motor	min^{-1}	5300	5500	6000	5750	6100
3 Par de giro máx.	Nm	235	85	125	157	185
a nº revol. del motor	min^{-1}	2500	3250	3000	3300	4500
4 Velocidad máxima	km/h	195	155	172	185	205
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	10,1	15,5	13,8	12,9	9,8
6 Peso en vacío	kg	1650	800	1120	1250	1440
7 Peso total admitido	kg	2340	1200	1620	1750	1990
8 Relación peso/pot.	kg/kW	15,3	20	20,4	15,1	13,5
9 Consumo combus.	l/100km	7,6/9,8/12,8	4,7/6,2/7,3	6,3/8,2/10,5	7,9/9,6/12,5	7,4/9,4/11,9
10 Tipo de combustible		95/98	95	–	95	95
11 Capacidad del dep.	l	80	43	51	60	70
12 Cilindrada	cm^3	1998	1108	1581	1995	1998
13 Diám. cilindro/carrera	mm	86/86	70/72	86,4/67,4	84/90	82/75,65
14 Relación de compr.		8,5	9,6	9,2	9,5	10
15 Potencia cilin.	kW/l	54,1	36,1	34,8	41,6	53,6
16 Forma motor		q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 5 R, 4 Ve
17 Preparación mezcla		Motronic,AT,lc	Mono-Motronic	Mono-Jetronic	El	Motronic
18 Generador (14 V)	A	90/120	55	65	110/115	100/120
19 Batería (12 V)	Ah	70	32/40	60	60	60
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	v
21 Reduc. de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,42/1,82	3,91/2,16	3,91/2,24	2,71/1,44	3,80/2,24
	3ª/4ª	1,25/0,97	1,35/0,97	1,54/1,16	1,00/0,74	1,52/1,16
	5ª	0,767	0,83	0,94	(Automatic)	0,91
22 Reducción eje		4,21	3,73	3,82	4,36	3,94
23 Tipo de cambio mar.	Man(Aut)	5	5 (st)	5	(4)	5/5
24 Refrigeración		W 8,5	W 4,6	W 6,5	W 6,9	W 8,3
25 Longitud del vehículo	mm	4455	3425	4010	4345	4685
26 Ancho del vehículo	mm	1835	1510	1705	1700	1825
27 Altura del vehículo	mm	1715	1430	1400	1430	1460
28 Distancia entre ejes	mm	2825	2160	2540	2540	2700
29 Vía del./tras.	mm	1535/1540	1280/1280	1440/1415	1435/1415	1545/1525
30 Diámetro mín. de giro	m	10,8	9,3	10,3	10,3	10,9
31 Alt. libre sobre el sue.	mm	–	160	150	150	140
32 Suspensión rued. del.		DQl-F-Ku	Ql-F	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku
33 Suspensión rued. tras.		Vla-P-Sf-Ku	Om-Ll-Sf	Ea-Ls-Sf-Ku	Ea-Ls-Sf-Ku	Ea-Ql-F-Sf
34 Neumáticos		205/65 HR 15	135 SR 13	185/60 HR 14	185/60 HR 14	195/65 VR 15
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

			Japón				
		Maserati	**Daihatsu**	**Honda**			
Kappa 2.0 i.e. Turbo 16V	Z 2.0 i.e. Turbo	Ghibli 2.8 24V Biturbo	Applause 1.6	Civic 1.5i	CRX 1.6i Hardtop	Domani 1.8i	
4 Li 5	5 Gli 5-8	2 Co 5	5 Li 5	3/4/5 Li 5	2 Co 2	4 Li 5	1
151 (205)	108 (147)	209 (284)	77 (105)	66 (90)	118 (160)	103 (140)	2
5600	5300	6000	6000	6000	7600	6300	
298	235	413	134	119	150	171	3
2750	2500	3000	3500	4700	7000	5000	
235	195	265	185	180	210	ca. 200	4
7,3	10,1	6	9,8	9,7	7,9	–	5
1480	1650	1365	925	935	1090	1090	6
2000	2340	–	1420	1460	–	–	7
9,8	15,3	6,5	12	14,2	9,2	10,6	8
6,8/9,0/11,2	7,6/9,8/12,8	8,8/10,7/16,0	5,3/7,2/8,5	5,5/7,2/8,8	6,1/7,6/9,2	7,0-12,0	9
95	95/98	–	95	91	95	–	10
70	80	80	50	45	45	45	11
1995	1998	2790	1590	1493	1595	1834	12
84/90	86/86	94/67	76/87,6	75/84,5	81/77,4	81/89	13
8	8,5	7,4	9,5	9,2	10,2	9,2	14
75,7	54,1	74,8	48,4	44,2	74	56,2	15
q 4 R, 4 Ve	q 4 R	6 V	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	16
Motronic, AT, lc	Motronic, AT, lc	El	El	El	El	El	17
120	90	105	45-50	45-70	80	55-85	18
60	70	60/66	36-44	35/47/55	47	35-65	19
v	v	h	v	v	v	v	20
3,80/2,24	3,42/1,82	3,51/1,94	3,09/1,75	3,25/1,90	3,25/2,11	3,23/1,90	21
1,36/0,97	1,25/0,97	1,35/1,00	1,25/0,92	1,25/0,91	1,46/1,11	1,27/0,97	
0,81	0,77	0,81	0,75	0,75	0,88	0,74	
3,56	4,21	3,36	4,27	4,25	4,27	4,06	22
5	5	5 (4)	5 (3/4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	23
W 8,3	W 8,5	W 12	W 5,1	W 4,6	W 4,8	W 5,5	24
4685	4470	4225	4260	4070	4000	4415	25
1825	1830	1775	1660	1695	1695	1695	26
1460	1715	1300	1375	1290	1255	1390	27
2700	2825	2515	2470	2570	2370	2620	28
1545/1525	1535/1540	1515/1510	1425/1415	1475/1465	1475/1465	1475/1465	29
10,9	11,8	10,8	10	9,8	9,4	10	30
140	–	125	150	150	140	150	31
DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	Ql-F-Ku	Ql-F-Ku	DQl-Sf	DQl-Sf-Ku	DQl-Ql-Sf-Ku	32
Ea-Ql-F-Sf	Vla-P-Ll-Sf-Ku	Ea-Sl-Sf-Ku	Ea-DQu-Ll-F-Ku	Ea-Ql-Sf-Zl	Ea-Ql-Sf-Zl-Ku	Ea-Ql-Zl-Ls-Ku	33
205/60 WR 15	205/65 HR 15	(1)	175/70 SR/ HR 13	175/70 HR 13	195/60 VR 14	185/65 HR 14	34
4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv	35

(1) Delante 205/50 ZR 16; Detrás 225/50 ZR 16.

País		Japón				
Marca del vehículo		**Honda** *(Continuación)*		**Mazda**		
Modelo		Integra 1.8i	Odyssey/ Shuttle 2.2i	323 Familia Neo 1.5i	323 Familia Sedan 1.8i	MX-6 2.5i
1 Carrocería		3 Co 5	5 Gli 6-7	3 Li 5	4/5 Li 5	2 Co 4
2 Potencia útil	kW(CV)	132 (180)	107 (145)	66 (90)	85 (115)	121 (165)
a nº revol. del motor	min^{-1}	7600	5600	5500	6000	5600
3 Par de giro máx.	Nm	175	196	134	160	217
a nº revol. del motor	min^{-1}	6200	4600	4000	4000	4800
4 Velocidad máxima	km/h	aprox. 215	185-190	173-177	188-194	220
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	–	–	11,8-12	9,7-10	8,5
6 Peso en vacío	kg	1140	1470	1010	1110	1170
7 Peso total admitido	kg	–	–	–	–	1735
8 Relación peso/pot.	kg/kW	8,3	13,7	15,5	13,1	9,8
9 Consumo combus.	l/100km	7,0-12,0	8,0-13,0	5,8/7,7/8,1	7,0-11,0	6,9/8,6/13,0
10 Tipo de combustible	ROZ	–	95	–	–	95
11 Capacidad del dep.	l	50	65	50	55	60
12 Cilindrada	cm^3	1797	2156	1489	1840	2497
13 Diám. cilindro/carrera	mm	81/87,2	85/95	75,3/83,5	83/85	84,5/74,2
14 Relación de compr.		10,6	8,8	9,4	9	9,2
15 Potencia cilindrada	kW/l	73,5	49,6	43,7	46,2	48,5
16 Forma motor		q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 6 V, 4 Ve
17 Preparación mezcla		El	El	El	El	El
18 Generador (14 V)	A	55-90	70	50-65	50-65	80
19 Batería (12 V)	Ah	35-65	57-65	33-60	33-60	48/60/65
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	v
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª 3ª/4ª 5ª	3,23/1,90 1,36/1,03 0,79	2,74/1,57 1,08/0,73 (Automatic)	3,42/1,84 1,29/0,92 0,775	3,31/1,83 1,31/1,03 0,795	3,31/1,83 1,31/1,03 0,795
22 Reducción eje		4,4	4,43	4,11	4,11	4,11
23 Tipo de cambio mar.	Man(Aut)	5 (4)	(4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)
24 Refrigeración		W 6	W 7,4	W 6	W 6	W 7,5
25 Longitud del vehículo	mm	4380	4750	4035	4340	4615
26 Ancho del vehículo	mm	1710	1770	1695	1695	1750
27 Altura del vehículo	mm	1335	1645	1405	1420	1310
28 Distancia entre ejes	mm	2570	2830	2505	2605	2610
29 Vía del./tras.	mm	1475/1460	1525/1540	1460/1460	1460/1460	1500/1500
30 Diámetro mín. de giro	m	10	9,8	9,8	10,2	10,7
31 Alt. libre sobre el sue.	mm	150	160	–	–	160
32 Suspensión rued. del.		DQl-Ql-Sf-Ku	DQl-Ql-Sf-Ku	DQl-F	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku
33 Suspensión rued. tras.		Ea-Ql-Zl-Sf-Ku	Ea-DQu-Ll-Sf-Ku	Ea-Ql-Ll-Sf-F-Ku	Ea-Ql-Ll-Sf-F-Ku	Ea-DQu-Ll-F-Ku
34 Neumáticos		195/60HR/VR 14	205/65 SR 15	175/70 SR 13	185/65 HR 14	205/55 VR 15
35 Sistema de frenos		4Sb-Sv	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

		Mitsubishi					
Xedos 6 2.0i	Xedos 9 2.25i	Colt 1.3i	FTO 1.8i	Galant 2.4i	Sigma 3.0i Station Wagon	Space Runner 2.0i	
4 Li 5	4 Li 5	3/4/5 Li 5	2 Co 2 + 2	5/4 Li 5	5 Ko 5	4 Gli 5	1
106 (144)	157 (213)	55 (75)	92 (125)	105 (143)	130 (177)	98 (133)	2
6000	5500	6000	6000	5500	5500	6000	
172	285	108	162	201	251	176	3
5000	4500	3000	4500	3500	3000	4750	
214	230	170	aprox. 200	190-210	220	185	4
9,3	8,6	12,5	–	–	9	11,2	5
1195	1490	890	1100	1250	1575	1185	6
–	1940	1450	–	1800	2130	1720	7
11,4	9,2	16,2	12	11,4	10,9	13,2	8
6,3/7,6/10,7	9,0-16,0	5,4/7,1/8,3	6,0-11,0	7,0-13,0	7,5/9,1/13,0	6,5/8,7/10,2	9
91	95	91	91	–	–	95	10
60	68	50	60	64	72	55	11
1995	2255	1299	1834	2350	2972	1834	12
78/69,6	80,3/74,2	71/82	81/89	86,5/100	91,1/76	81/89	13
9,5	10	9,5	9,5	9,5	10	10	14
53,1	71,8	42,4	50,2	44,7	43,8	49,1	15
q 6 V, 4 Ve	q 6 V, 4 Ve	q 4 R, 3 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 6 V	q 4 R, 4 Ve	16
El	L-Jetronic, AT	El	El	El	El	El	17
80	90/110	50/65/70/75	50/65/75	75/90	90/110	45-60	18
48/60/65	52/58/65	45-52	45-52	52	53/65	45-65	19
v	v	v	v	v	v	v	20
3,31/1,83 1,23/0,91 0,755	2,79/1,55 1,00/0,69 (Automatic)	3,360/1,950 1,285/0,940 0,780	3,58/1,95 1,38/1,03 0,82	3,170/1,830 1,240/0,896 0,73	3,09/1,83 1,22/0,89 0,74	3,25/1,83 1,22/0,89 0,73	21
4,39	3,81	4,32	4,31	4,32	4,15	4,59	22
5 (4)	(4)	5/4 (3/4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	23
W 7,5	W 7,5	W 5	W 5	W 6	W 9,5	W 6,5	24
4560	4825	3955	4320	4620	4800	4290	25
1695	1770	1690	1735	1730	1775	1695	26
1350	1395	1365	1300	1400	1470	1640	27
2610	2750	2440	2500	2635	2720	2520	28
1470/1480	1520/1520	1450/1460	1475/1470	1510/1505	1535/1530	1460/1460	29
10,4	11,4	10,6	10,6	10	11,8	11,5	30
135	125	125	125	140	155	120	31
DQl-F-Ku	DQl-Zl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-Ls-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	32
Ea-DQu-Ll-F-Ku	Ea-DQu-Ll-F-Zl-Ku	Ql-Ls-Zl-Sf	Ql-Ls-Zl-Sf	Ea-DQl-Ls-DQu-Sf-Ku	Sa-Ll-Sl-P	Ea-Sl-Sf-Ku	33
195/60HR/VR 15	215/55 VR 16	155 SR 13	185/70 SR 14	185/70 HR 14	205/65 VR 15	185/70 TR 14	34
4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	35

País		Japón				
Marca del vehículo		Nissan				
Modelo		Micra 1.0i	Sunny Van 1.6	Sunny 2.0 Diesel	Primera 2.0i	Serena 2.0 Diesel Turbo
1 Carrocería		3/5 Li 5	5 Ko 5	4/3 Li 5	5/4 Li 5	4 Gli 7-8
2 Potencia útil	kW(CV)	40 (55)	66 (90)	56 (76)	92 (125)	66 (91)
a nº revol. del motor	min^{-1}	6000	6000	4800	5600	4400
3 Par de giro máx.	Nm	79	133	132	170	184
a nº revol. del motor	min^{-1}	4000	4000	2800	4800	2400
4 Velocidad máxima	km/h	150	173	aprox. 160	205	130
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	16,4	10,7	–	10	31
6 Peso en vacío	kg	775	930	1070	1180	1385
7 Peso total admitido	kg	1290	1570	–	1685	2100
8 Relación peso/pot.	kg/kW	19,4	15,1	19,1	11,7	22,1
9 Consumo combus.	l/100km	4,8/6,7/6,0	5,4/7,2/8,6	5,0-9,0	6,3/7,7/10,8	7,0/9,4/9,4
10 Tipo de combustible	ROZ	–	95	Diesel	95	Diesel
11 Capacidad del dep.	l	42	50	50	60	60
12 Cilindrada	cm^3	998	1597	1974	1998	1973
13 Diám. cilindro/carrera	mm	71/63	76/88	84,5/88	86/86	84,5/88
14 Relación de compr.		9,5	9,8	22,2	9,5	22,2
15 Potencia cilindrada	kW/l	40,1	41,3	28,4	46	34
16 Forma motor		q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R, 4 Ve	Mv 4 R
17 Preparación mezcla		El	carburador[1]	EP/V	El	EP/V, AT
18 Generador (14 V)	A	65	50-60	50-60	45-80	45-80
19 Batería (12 V)	Ah	44	44-60	44-60	40-60	40-60
20 Tipo transmisión (posición del motor)		v	v	v	v	h
21 Reduc. de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,41/1,96	3,33/1,96	3,33/1,96	3,06/1,83	3,99/2,25
	3ª/4ª	1,32/1,03	1,29/0,93	1,29/0,93	1,21/0,93	1,42/1,00
	5ª	0,85	0,73	0,73	0,73	0,82
22 Reducción eje		4,05	4,06	3,65	4,06	4,08
23 Tipo de cambio mar.	Man(Aut)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)
24 Refrigeración		W 4	W 5	W 5	W 7	W 10
25 Longitud del vehículo	mm	3700	4170	4250	4400	4315
26 Ancho del vehículo	mm	1590	1665	1690	1695	1695
27 Altura del vehículo	mm	1430	1485	1385	1385	1825
28 Distancia entre ejes	mm	2360	2400	2535	2550	2735
29 Vía del./tras.	mm	1365/1325	1440/1440	1480/1445	1470/1460	1460/1450
30 Diámetro mín. de giro	m	9,8	10,1	9,2	11	10,8
31 Alt. libre sobre el sue.	mm	–	140	150	140	160
32 Suspensión rued. del.		DQl-F	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	Ma-DQl-Ql-Sf-Ku	DQl-F-Ku
33 Suspensión rued. tras.		Sa-P-Sf	Vla-P-Sf	Ta-P-Ll-Zl-Sf-Ku	Ea-DQu-Ll-F-Ku	Ea-Ma-DQl-Qf
34 Neumáticos		155/70 SR 13	155 SR 13	165 SR 13	185/65 HR 14	195/70 SR 14
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823. [1] Regulado electrónicamente.

						Corea	
Subaru	Toyota					Daewoo	
Impreza 1.6i	Corolla 1.3i	Carina 1.6i	Previa 2.4i	Camry Wagon 3.0i	Supra 3.0i Doppelturbo	Nexia 1.5i	
4 Li 5	2 Co 5	4/5 Li 5	4 Gli 7-8	5 Ko 5/7	3 Co 4	4/3/5 Li 5	1
66 (90)	65 (88)	85 (115)	97 (132)	138 (188)	243 (330)	66 (90)	2
5600	6000	6000	5000	5400	5600	4800	
128	111	147	204	255	441	137	3
4000	4800	4800	4000	4400	4800	3600	
172	175	195	175	215	250	171	4
13,1	11,5	11,4	11,5	9,4	5,1	12,2	5
990	980	1060	1625	1530	1490	1090	6
–	–	1600	–	1930	–	1530	7
15	14,5	12,8	17,4	10,4	6,1	15,2	8
6,4/8,5/9,8	5,3/7,0/7,7	5,5/7,2/8,8	8,6/11,7/12,8	8,7/11,0/13,7	7,8/10,3/15,1	5,2/6,5/9,7	9
95	95	95	95	95	95	–	10
50	50	60	75	70	70	50	11
1597	1331	1587	2438	2959	2997	1498	12
87,9/65,8	74/77,4	81/77	95,0/86,0	87,5/82	86/86	76,5/81,5	13
9,4	9,8	9,5	9,3	9,2	8,5	9,2	14
41,3	48,8	53,5	39,8	46,6	81,1	44,1	15
4 Bx, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	Mv 4 R, 4 Ve	6 V, 4 Ve	6 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	16
El	El	El	L-Jetronic	El[1]	El, 2 AT, Ic	El	17
70/75	40-70	40-70	70-80	80	60-70	65/75	18
48-52	40-60	40-60	48-65	55	60-70	44/55	19
v	v	v	h	v	h	v	20
3,55/2,11	3,55/1,90	3,55/1,90	3,35/2,02	3,54/2,04	3,83/2,36	3,55/1,95	21
1,45/1,09	1,31/0,97	1,30/0,97	1,37/1,00	1,32/1,03	1,69/1,31	1,28/0,89	
0,825	0,815	0,815	0,85	0,82	1,00/0,79	0,71	
3,9	4,06	4,06	3,91	3,63	3,27	3,72	22
5 (4)	5 (3/4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	6/5 (4)	5/4 (3)	23
W 6	W 4,7	W 5,4	W 11,6	W 8,5	W 8	W 7,7	24
4350	4275	4530	4750	4720	4520	4480	25
1690	1695	1695	1800	1770	1810	1660	26
1410	1305	1410	1780	1400	1275	1360	27
2520	2465	2580	2860	2620	2550	2520	28
1470/1465	1470/1460	1465/1450	1560/1550	1545/1500	1520/1525	1400/1405	29
10,2	10,4	10	12,2	11,4	10,8	9,8	30
160	150	155	150	150	140	165	31
DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-Sf-Ku	Ql-Ll-Sf-Ku	32
Ea-Ql-Ll-F-Ku	Ea-Ql-Ll-F-Ku	Ea-Ql-Ll-F-Ku	Ea-Sl-Ql-Sf	Ea-DQu-F-Ku	Ea-DQl-Ql-Sf-Ku	Vla-Sf-Ku	33
175/70 HR 14	155 SR 13	185/65 R 14	185 SR 14	205/65 VR 15	[2]	155 SR 13	34
Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	35

[1] Lic. Bosch L-Jetronic. [2] Delante 225/50 ZR 16; Detrás 245/40 ZR 17.

País		Corea		Suecia		
Marca del vehículo		Hyundai	Kia	Saab		
Modelo		Accent 1.5i	Sephia 1.6i	900 i 2.0	900 i 2.0 Turbo	9000 i 2.0 Eco-Turbo
1 Carrocería		3/4/5 Li 5	4 Li 5	3/5 Li 5	3/5 Li 5	4/5 Li 5
2 Potencia útil	kW(CV)	66 (90)	78 (106)	96 (130)	136 (185)	110 (150)
a nº revol. del mot.	min^{-1}	5600	6200	6100	5500	5500
3 Par de giro máx.	Nm	130	135	177	263	210
a nº revol. del mot.	min^{-1}	3050	3600	4300	2100	2500
4 Velocidad máxima	km/h	180	180-190	200	230	210
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	11,7	–	11	8,5	10
6 Peso en vacío	kg	935	1020	1295	1360	1360
7 Peso total admitido	kg	1440	1520	1860	1860	1920
8 Relación peso/pot.	kg/kW	14,2	11,7	13,5	10	12,4
9 Consumo combus.	l/100km	4,5/6,2/7,8	7,0-10,0	7,0/8,3/12,5	6,3/8,2/12,5	7,0/8,6/12,0
10 Tipo de comb.	ROZ	–	91	95/91	95/91	95/91
11 Capac. del dep.	l	45	50	68	68	66
12 Cilindrada	cm^3	1495	1598	1985	1985	1985
13 Diám. cilind./car.	mm	75,5/83,5	78/83,6	90/78	90/78	90/78
14 Relac. de compr.		10	9	10,1	9,2	8,8
15 Potencia cilindrada	kW/l	44,2	48,8	48,4	68,5	55,4
16 Forma motor		q 4 R, 3 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve
17 Preparación mezcla		Motronic	El	Motronic	Motronic,AT,lc	LH-Jetronic,AT,Lk
18 Generador (14 V)	A	75	70	70/90	70/90	90-120
19 Batería (12 V)	Ah	45	48	60	60	60
20 Tipo transmisión (posición del mot.)		v	v	v	v	v
21 Reducción de engranajes (cambio manual)	1ª/2ª	3,46/2,05	3,42/1,84	3,38/1,76	3,38/1,76	3,38/1,76
	3ª/4ª	1,37/1,03	1,29/0,92	1,12/0,89	1,12/0,89	1,18/0,89
	5ª	0,84	0,73	0,70	0,70	0,70
22 Reducción eje		3,84	4,11	4,45	3,82	3,89
23 Tipo de camb mar.		5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)	5 (4)
24 Refrigeración	Man(Aut)	W 3,3	W 5	W 10	W 10	W 9
25 Long. del vehículo	mm	4105	4280	4635	4635	4780
26 Ancho del vehíc.	mm	1620	1690	1710	1710	1765
27 Altura del vehículo	mm	1395	1390	1435	1435	1420
28 Distancia entre ejes	mm	2400	2500	2600	2600	2670
29 Vía del./tras.	mm	1420/1410	1440/1435	1445/1445	1445/1445	1520/1490
30 Diám. mín. de giro	m	9,7	10,6	11,1	11,5	10,9
31 Alt. lib. sob. el sue.	mm	170	150	140	140	150
32 Suspen. rued. del.		DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	Ql-Sf-F-Ku
33 Suspen. rued. tras.		Ea-DQu-Ll-Sf	Ea-DQu-Ll-F-Ku	Vla-Sf-Ku	Vla-Sf-Ku	Sa-P-Ll-Sf-Ku
34 Neumáticos		175/70 SR 13	175/70 R 13	185/65 HR 15	205/50 VR 16	195/65 VR 15
35 Sistema de frenos		Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

	Volvo						
9000 i 2.3 Eco Turbo	440 1.7i	460 2.0i	460 1.9 TDi	480 1.7i Turbo	850 2.3i T-5R Wagon	940 2.4 TD	
4/5 Li 5	4/5 Li 5	4 Li 5	4 Li 5	3 Co 4	5 Ko 5/7	4 Li 5	1
125 (170)	74 (101)	81 (110)	68 (92)	88 (120)	165 (225)	90(122)	2
5700	5600	5400	4500	5400	5300	4800	
260	142	165	180	175	300	235	3
3200	3900	3500	2250	3300	2000-5300	2400	
220	165	190	180	200	240	181	4
8,5	12,8	10,2	12	9	7,4	12	5
1360	980	1030	980	1030	1470	1500	6
1920	1570	1520	1570	1410	1970	1950	7
10	13,2	12,7	14,4	11,7	8,6	16,7	8
6,7/8,1/11,9	5,5/7,4/9,8	5,9/8,1/11,1	4,2/5,8/7,4	6,4/8,4/10,1	6,9/8,5/12,9	6,0/8,4/9,4	9
95/91	95	95	Diesel	95	95	Diesel	10
66	60	60	60	60	73	75	11
2290	1721	1998	1870	1721	2319	2383	12
90/90	81/83,5	82,7/93	80/93	81/83,5	81/90	76,5/86,4	13
9,25	10	9,5	20,5	8,1	8,5	23	14
54,6	48	40,5	36,4	51,1	71,2	37,8	15
q 4 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 4 R	q 5 R, 4 Ve	6 R	16
El, AT, lk	El	El	EP/V, AT	LH-Jetronic[1]	Motronic, AT, Lk	EP/V, AT	17
90-120	60	70	70	70	100	65/80/100	18
60	55	55	70	55	60	60/70	19
v	v	v	v	v	v	h	20
3,38/1,76	3,73/2,05	3,73/2,05	3,73/2,05	3,09/1,84	–	3,54/2,05	21
1,18/0,89	1,32/0,97	1,32/1,00	1,32/0,97	1,32/0,97	–	1,38/1,00	
0,70	0,79	0,79	0,76	0,76	–	0,81	
3,89	3,73	3,73	3,29	3,73	3,77	3,54	22
5 (4)	5	5 (4)	5	5 (4)	4+O (4)	5 (4)	23
W 9	W 7	W 7	W 7,4	W 7	W 7,2	W 8,5	24
4780	4310	4405	4405	4260	4710	4870	25
1765	1680	1680	1680	1685	1760	1750	26
1420	1380	1380	1380	1320	1430	1410	27
2670	2505	2505	2505	2505	2660	2770	28
1520/1490	1420/1425	1420/1425	1420/1425	1415/1425	1520/1470	1470/1520	29
10,9	11,1	11,1	11,1	10,2	10,2	9,9	30
150	125	125	125	110	110	105	31
Ql-Sf-F-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	Ql-Sf-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	32
Sa-P-Ll-Sf-Ku	Sa-P-Sf-Wa	Sa-P-Sf-Wa	Sa-P-Sf-Wa	Sa-P-Sf-Wa	Vla-DQl-Li-Sf-Ku	Sa-P-Ls-Sf-Ku	33
195/65 VR 15	165/70 TR 14	175/65 TR 14	175/65 TR 14	195/55 HR 15	205/50 ZR 16	185/65 R 12	34
4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv	4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv	35

[1] AT, lk

País		Suecia	España		EE.UU.	
Marca del vehículo		Volvo *(Cont.)*	Seat		Buick	Cadillac
Modelo		960 2.5i	Cordoba 2.0	Toledo 1.9 Diesel Turbo	Park Avenue 3.8i	DeVille 4.6i
1 Carrocería		4 Li 5	4 Li 5	5 Li 5	4 Li 6	4 Li 6
2 Potencia útil	kW(CV)	125 (170)	85 (115)	55 (75)	150 (204)	205 (279)
a nº revol. del motor	min^{-1}	5700	5400	4200	5200	5600
3 Par de giro máx.	Nm	230	166	150	324	407
a nº revol. del motor	min^{-1}	4400	3200	2400	3700	4000
4 Velocidad máxima	km/h	210	198	171	200	210
5 Aceleración de 0 a 100 km/h	s	9,7	10,1	14,9	9,5	8,2
6 Peso en vacío	kg	1600	1130	1080	1600	1810
7 Peso total admitido	kg	2010	1530	1580	2120	–
8 Relación peso/pot.	kg/kW	12,4	13,3	19,6	10,5	8,8
9 Consumo combus.	l/100km	9,0-13,0	5,8/7,2/10,3	4,6/6,6/7,5	7,6/9,2/15,2	11,0-18,0
10 Tipo de combustible	ROZ	95	95	Diesel	91	91
11 Capacidad del dep.	l	80	47	55	68	76
12 Cilindrada	cm^3	2473	1984	1896	3791	4565
13 Diám. cilindro/carrera	mm	81/80	82,5/92,8	79,5/95,5	96,52/86,36	93/84
14 Relación de compr.		10,5	10	23	9,4	10,3
15 Potencia cilindrada	kW/l	50,6	42,8	29	40,4	44,9
16 Forma motor		6 R, 4 Ve	q 4 R	q 4 R	q 6 V	8 V, 4 Ve
17 Preparación mezcla		Motronic	Digifant	EP/V, AT, lc	El	El
18 Generador (14 V)	A	120	70/90	70/90	105	140
19 Batería (12 V)	Ah	70	54/63	64	69	69
20 Tipo transmisión (posición del motor)		h	v	v	v	v
21 Reducción del engranajes (cambio manual)	1ª/2ª 3ª/4ª 5ª	3,54/2,04 1,37/1,00 0,80	3,45/1,94 1,29/0,97 0,81	3,46/1,94 1,29/0,91 0,75	2,92/1,57 1,00/ O 0,70 (Automatic)	2,96/1,63 1,00/ O 0,68 (Automatic)
22 Reducción eje		4,1	3,67	3,67	2,97	3,11
23 Tipo de cambio mar.	Man(Aut)	5 (4)	5	5	(4+O)	(4+O)
24 Refrigeración		W 10,7	W 6,3	W 7	W 8,1	W 11,8
25 Longitud del vehículo	mm	4870	4110	4320	5230	5325
26 Ancho del vehículo	mm	1750	1640	1660	1880	1945
27 Altura del vehículo	mm	1410	1400	1425	1400	1430
28 Distancia entre ejes	mm	2770	2440	2470	2815	2890
29 Vía del./tras.	mm	1500/1520	1430/1395	1430/1420	1535/1540	1545/1545
30 Diámetro mín. de giro	m	9,7	10	10,5	12,2	13,4
31 Alt. libre sobre el suelo	mm	105	120	120	130	150
32 Suspensión ruedas del.		DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Ku	DQl-Ql-Ll-F-Sf-Ku
33 Suspensión ruedas atr.		Ea-Ql-Ll-Sf-Ku	Vla-Ls-Sf-Ku	Vla-Ls-Sf-Ku	Ea-Db-DQl-Sf-Ku	Ea-DQl-Sf-K
34 Neumáticos		196/65 VR 15	185/60 R 14	175/70 R 13	205/70 R 15	225/60 HR 16
35 Sistema de frenos		4Sb-Sv-ABS	4Sb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv-ABS	4Sb-Sv-ABS

Abreviaciones y aclaraciones, págs. 822-823.

Chevrolet	Chrysler	Dodge	Ford	Mercury	Oldsmobile	Pontiac	
Camaro 3.4i Convertible	Voyager 3.0 V6	Intrepid 3.3i	Probe 2.5i	Cougar 3.8i	Aurora 4.0i	Trans Sport 2.3	
2 Ca 4	4 Gli 5-7	4 Li 5/6	2 Co 4	2 Co 4/5	4 Li 5	4 Gli 5-7	1
119 (162) 4600	108 (147) 5100	120 (163) 5300	121 (165) 5500	104 (142) 3800	186 (253) 5600	108 (147) 5800	2
271 3600	225 2750	245 3200	216 4800	292 2400	353 4000	190 4800	3
180	180	180	220	180	174	185	4
9	12,4	(0-97 km/h) 11	8	–	(0-97 km/h) 8,2	11,3	5
1520	1585	1500	1295	1605	1795	1695	6
–	2400	–	1690	–	–	2325	7
12,4	14,9	12,5	10,9	15,4	9,6	15,7	8
8,0-15,0	8,1/10,6/14,4	9,0-16,0	7,8/9,9/12,5	10,0-16,0	11,0-19,0	8,0/10,2/13,4	9
91	91	91	91	91	91	91	10
59	76	68	59	68	75,5	76	11
3350	2972	3301	2497	3797	3995	2260	12
92/84	91,1/76,0	93/81	84,5/74,2	96,8/86	87/84	92/85	13
9	8,9	8,9	9,2	9	10,3	9,5	14
35,5	35,7	36,4	48,9	27,4	45,6	47,8	15
6 V	q 6V	6 V	6 V, 4 Ve	6 V	q 8 V, 4 Ve	q 4 R, 4 Ve	16
El	El	El	El	El	El	Ze	17
105	90/120	90	90	130	140	105	18
54	66	60	58	58	90	54	19
h	v	v	v	h	v	v	20
3,75/2,19 1,41/1,00 0,72	3,31/2,06 1,36/0,97 0,71	2,84/1,57 1,00/0,69 (Automatic)	3,31/1,83 1,31/1,03 0,795	2,84/1,56 1,00/0,70 (Automatic)	2,96/1,62 1,00/ O 0,68 (Automatic)	3,77/2,19 1,38/1,03 0,81	21
3,23	3,77	3,66	4,39	3,27	3,48	3,94	22
5 (4)	5 (3/4)	(4)	5 (4)	(4)	(4+O)	5	23
W 11,6	W 10	W 9,6	W 7,5	W 10,2	W 12,5	W 11,5	24
4910	4525	5125	4540	5080	5220	4880	25
1885	1830	1890	1775	1845	1890	1895	26
1320	1680	1430	1310	1335	1405	1670	27
2565	2850	2870	2610	2870	2890	2790	28
1540/1540	1520/1580	1575/1575	1520/1520	1565/1530	1590/1590	1505/1560	29
12,5	12,5	11,5	11,2	12	12,9	13,8	30
110	100	150	160	140	140	175	31
DQl-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Sf-Ku	DQl-F-Ku	DQl-Ql-Ku	DQl-F-Ku	DQl-F-Sf-Ku	32
Sa-P-Ll-Sf-Ku	Sa-Bf	Ea-DQu-Ll-Sf-Ku	Ea-DQu-Ll-F-Ku	Ea-DQl-Ql-Sf-Ku	Ea-Ql-Sl-Sf-Ku	Sa-P-Ll-Sf-Ku	33
215/60 R 16	205/70 R 15	205/70 R 15	195/65 SR/HR 14	205/70 R 15	235/60 ZR 16	205/65 R 15	34
Sb-Tb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	Sb-Tb-Sv	4Sb-Sv-ABS	Sb-Tb-Sv-ABS	35

Legislación del tráfico

En Alemania la legislación del tráfico está regulada por varias normas legales como son:

– la ley de tráfico en carreteras (StVG), para la seguridad del tráfico, la responsabilidad hacia terceros y las sanciones,

– el código de circulación (StVO) para comportamiento de los participantes en el tráfico,

– las normas de homologación para el tráfico (StVZO), el permiso de circulación de las personas y de los vehículos,

– las directivas y normas de la Comunidad Europea que han sido integradas en la StVZO o introducidas por disposiciones nacionales para normalización en todos los países miembros para los vehículos y personas participantes en el tráfico,

– la ley del seguro obligatorio (PflversG) para seguro contra terceros.

– el código penal StGB), juntamente con el StVG y el código de procesos penales (StPO) para las normativas penales, y

– la ley sobre infracciones del orden público (OWiG) así como el catálogo de avisos y multas a las demás infracciones.

A continuación se exponen solamente las más importantes normas de la legislación del tráfico.

Carga (§ 22 StVO)

Las cargas que sobresalen más de un metro por detrás del vehículo deben señalarse:

– de día, por una bandera roja o una placa de rojo claro, que cuelgue transversalmente a la dirección de marcha ambos de ≥ 30 x 30 cm, o por un cilindro de color rojo claro, de una altura ≥ 30 cm y un diámetro ≥ 35 cm y

– de noche, por una luz roja a una altura no superior a 1,5 m sobre la calzada, y por un reflector rojo trasero a una altura no superior a 90 cm sobre la calzada.

Si la carga sobresale lateralmente de las luces de contorno o las traseras ≥ 40 cm debe señalarse de noche por

– una luz blanca delante y

– una luz roja detrás, colocadas como máximo a 40 cm del borde de la carga y a una altura menor que 1,5 m sobre la calzada.

En condiciones de mala visibilidad, la señalización se efectúa de día igual que durante la noche.

Repetición de luces traseras en transportes de cargas, ver § 49 a, párr. 9 a, StVZO.

Concesión y validez del permiso de circulación (§ 19 StVZO)

El permiso de circulación (BE) para un vehículo también se concede si se cumple, en vez de una norma de la StVZO, una directiva correspondiente europea.

Equiparada a un permiso de circulación general nacional (ABE), para un vehículo, según § 20 StVZO, es una concesión de tipo de la CE (BE de la CE o de la CEE), otorgada por un estado miembro.

El permiso de circulación se anula al efectuarse modificaciones que originen:

– variaciones en el tipo de vehículo,

– un posible peligro de los participantes en el tráfico o

– un empeoramiento del comportamiento en cuanto a gases de escape o de ruidos.

La BE no se anula, según § 22 StVZO, si para los componentes montados se aportan los siguientes comprobantes:

– una BE según § 22 StVZO, o bien una concesión de tipo de construcción (BG) según § 22 a StVZO o bien si el montaje posterior se efectuó mediante una BE del vehículo; cuando esté prescrita una comprobación del montaje efectuado, éste debe ser inmediatamente autorizado y confirmado,

– una BE de la CE o bien una autorización ECE (sin obligatoriedad de llevar la documentación),

– un peritaje parcial de un servicio técnico con certificación de una comprobación efectuada y autorizada del montaje.

La BE no se extingue si se efectúan modificaciones en vehículos del fabricante declarados para ensayos.

Un BE extinguida después de modificaciones, puede volver a ser autorizada según § 21 StVZO bajo presentación del permiso de circulación.

Autorización de circulación para componentes
(§ 22 StVZO)

La BE puede ser concedida separadamente para componentes que formen una unidad tecnológica con el vehículo y que sean montados y desmontados de forma reglamentaria. En componentes fabricados en serie es suficiente una sola comprobación y que cada pieza lleve el número de tipo; la validez del permiso general de circulación (ABE) puede hacerse depender de la comprobación del componente. El montaje posterior de componentes del vehículo también puede ser autorizado en el curso de una ABE o de una BE de la ECE.

Homologación modelos para componentes de vehículos
(§ 22 a StVZO)

Las siguientes instalaciones deben ser realizadas según un modelo oficialmente admitido, siendo indiferente que se trate de su montaje en vehículos de permiso obligatorio o de vehículos sin dicha obligación:

1. Calefacciones en vehículos, exceptuando exceptuando las que funcionan con electricidad y agua de refrigeración,
2. dispositivos contra el resbalamiento, exceptuando cadenas de nieve,
3. cristales de seguridad,

Velocidad máxima admisible (§§ 3 y 18 StVZO)
Dentro de áreas urbanas es válida para todos los vehículos 50 km/h

Tipo de vehículo y peso total admitido (PMA) (moto con y sin sidecar Camión incl. vehículos semirremolques, Automóviles incl. familiares)	Fuera de núcleos urbanos exceptuando autopistas y autovías km/h	Autopistas y autovías (en calzadas de un solo sentido separadas del otro por medio de franjas centrales divisorias o construcciones eventuales fijas km/h
Moto, automóvil y otros = 2,8 t	100[1]	Sin limitación[2]
Vehículos (excep. turismos) > 2,8 t y ≥ 7,5 t Automóvil con remolque Camión = 2,8 t con remolque Autocar *), también con remolque	80	80[3]
Vehículo > 7,5 t	60	80
Vehículos (excep. camiones ≥ 2,8 t y turismos) con remolque	60	–[3]
Autocares con pasajeros de pie	60	60
Autocares con remolque	60	60
*) Casos particulares		
Moto con remolque	60	60
Furgón camping con remolque	60	60
Camión con remolque, según PMA del camión		
– ≤ 2,8 t	80	80
– > 2,8 t	60	80
Máquina de trabajo automotora con remolque	60	60
Máquina de tracción con un remolque	60	80
Maquina de tracción con dos remolques	60	60
Autocar sin remolque con placa "100 km/h"	80	100
Vehículos con cadenas de nieve	50	50

[1] No hay límite de velocidad máxima en carreteras con vías de un solo sentido, separadas por franja central u otras medidas constructivas, así como también en carreteras con mínimo dos vías marcadas para un mismo sentido; pero se recomienda la velocidad máxima de 130 km/h.
[2] Velocidad indicativa recomendada 130 km/h.
[3] Ver también en "excepciones".

4. frenos automáticos de retención,
5. instalaciones para la unión de vehículos,
6. faros (luces de carretera y de cruce),
7. faros antiniebla y luces marcha atrás,
8. luces traseras y de freno,
9. indicadores de giro (intermitentes),
10. luces de posición, de arriostramiento, de estacionamiento, de gálibo, de matrícula y posteriores de niebla,
11. luces giratorias para luz intermitente azul o amarilla,
12. reflectores catadióptricos (blancos, amarillos, rojos),
13. triángulos de aviso, luces de emergencia y placas de aviso de estacionamiento,
14. bocinas de emergencia, tacógrafos,
15. fuentes de luz (p.ej. bombillas),
16. cinturones de seguridad, dispositivos de retención (también para niños),
17. luces para el aseguramiento de cargas sobresalientes,
18. luces intermitentes portátiles y demarcaciones rojiblancas para plataformas de elevación de carga.

Los componentes con construcción oficialmente homologada deben llevar un distintivo de comprobación ∿∿, letra y número o Ⓔ según regulación ECE o ⓔ según autorización CEE).
Los dispositivos utilizados para el ensayo en el tráfico no son de autorización obligatoria si el conductor tiene una autorización oficial para esos casos.

Registro obligatorio de los propietarios y tenedores de vehículos (§ 27 StVZO)
Los datos en la documentación y certificación del vehículo deben corresponderse continuamente con las condiciones reales; las modificaciones deben notificarse sin dilación a la oficina de registro.
Si el domicilio del vehículo es trasladado durante más de tres meses a otra comarca, hay que solicitar sin dilación una nueva matrícula. Si el traslado previsiblemente sólo es transitorio, es suficiente la notificación de la oficina de registro que hizo entrega a la matrícula. En caso de venta del vehículo el propietario debe indicar sin dilación a la oficina de registro la dirección del comprador y adjuntar el recibo, por parte de éste, de la documentación del vehículo. El comprador debe solicitar sin dilación nueva documentación para el vehículo y, en su caso, nuevas matrículas.

Si esto no se efectúa así, la oficina de registro puede anular el permiso de circulación en tráfico público, hasta que se hayan cumplido los requisitos.

Si un vehículo es retirado del tráfico por más de un año, el propietario debe comunicarlo a la oficina de registro, presentando la documentación, y quitar el sello oficial en la matrícula, a menos que la oficina de registro autorice el plazo. En el caso que se vuelva a dar de alta un vehículo dado de baja por más de un año, se elaborará una documentación nueva.

Revisión de vehículos y remolques (§ 29 StVZO)
Los tenedores de vehículos deben hacer revisar sus vehículos, a expensas propias, a intervalos de tiempo regulares. Hay que demostrar mediante la placa de revisión el mes de la revisión principal. Cuando no hay objeciones reglamentarias del vehículo, un perito o un inspector indica a la oficina de registro de expedir una placa de revisión nueva. La fecha de la próxima revisión se anota en la documentación y el informe de la revisión.

La placa de revisión pierde su validez al cabo de dos meses después de su caducidad. Si el vehículo pierde la validez de la placa de revisión, la oficina de registro puede prohibir o restringir el uso del vehículo en el tráfico.

Potencia del motor (§ 35 StVZO)
La potencia del motor en autocares, camiones, semirremolques y trenes de camiones ha de ser 4,4 kW/t así como también en tractores de carretera con máquinas de tracción ≥ 2,2 kW/t del e peso total admitido. No es de aplicación a vehículos eléctricos y vehículos con una velocidad máxima condicionada por construcción, ≥ 25 km/h.

Asientos, cinturones de seguridad, sistemas de retención (§ 35 a StVZO)
Los automóviles, semirremolques, camiones y vehículos con las mismas características constructivas, con permiso de circulación posterior al 1.1.1992 y de velocidad máxima admitida > 25 km/h, deberán llevar, al igual que los anteriormente citados turismos, cinturones de seguridad de tres puntos en los dos asientos exteriores y al menos cinturones abdominales en los restantes asientos. En automóviles descapotables (en todos los asientos) y en los asientos traseros de furgones camping son suficientes los cinturones abdominales. Los anclajes de los cinturones de seguridad deben corresponder a las directivas 76/115/CEE.

Para vehículos con permisos concedidos antes del 1.1.1998 y después del 1.5.1979 se prescriben cinturones de seguridad para todos los asientos, pero sólo para vehículos y camiones de = 2,8 t. También pueden ser utilizados cinturones del tipo de tirantes u otros sistemas de retención, los cuales deben ser homologados constructivamente para vehículos con permisos a partir del 1.1.1997.

Una excepción total son los asientos abatibles y asientos no orientados hacia delante.

Pesos y medidas admitidos (§§ 32 y 34 StVZO)
Ancho 2,25 m (aperos agrícolas y forestales 3,0 m, determinados vehículos frigoríficos 2,60 m), altura 4,0 m. Los vehículos agrícolas y forestales cargados pueden superar con la carga los 4,0 m de altura, pero no el ancho total de 3,0 m (§ 22 StVZO).

Tipo de vehículo	Longitud m	Peso t
Vehículos individuales, excepto semirremolques; con = 2 ejes	12	18
Vehículos de 3 ejes		
– en general	12	25
– con un eje doble de 19 t	12	26
Remolques con > 2 ejes	12	24
Vehículos con > 3 ejes (normas para ejes)	12(*)	32
Autobuses articulados	18	28
Combinaciones de vehículos		
– Trenes: camiones + remolque (normas para longitudes parciales)	18,35	
Otros trenes que sean camión + remolque	18	
– Trailers	15,5	
o en situaciones especiales (normas para longitudes parciales)	16,5	
– Trailers y trenes semirremolque de < 4 ejes		28
– Trailers y trenes semirremolques de 4 ejes		
Vehículos de dos ejes + remolque de dos ejes		36
Trailers de dos ejes + semirremolque de dos ejes (según la distancia entre ejes y tipo de ejes)		36...38
Vehículos de 25 t + remolque)		35
Vehículos de 26 t + remolque)		36
– Trailers y trenes semirremolques con > 4 ejes		40
– Trailers de 5 o 6 ejes (3 + 2 ejes o 3 + 3 ejes) para contenedores ISO de 40 pies		44

Cargas en los ejes: ejes individuales 10 t, ejes individuales accionados 11,5 t, ejes dobles según distancia entre ejes y equipamiento: 11,5 t (> 1 m), 16 t (≥ 1 m y < 1,3 m), 18 t (≥ 1,3 m y < 1,8 m), o bien ejes de tracción 19 t con suspensión neumática de dobles rueda o en el caso de ejes de tracción 9,5 t de doble rueda en remolques son válidos analogamente 11 t, 16 t, 18 t y 20 t (≥ 1,8 m). Carga tres ejes 21 t (≤ 1,3 m) y 24 t (> 1,3 m y ≤ 1,4 m).

(*) Para autobuses con ejes dobles que correspondan a la norma de excepción 44 de la StVZO, valen 15 m.

Neumáticos y superficies de rodadura
(§ 36 StVZO)
Los vehículos y remolques deben ir provistos de neumáticos que en toda su circunferencia y en toda la anchura de la superficie de rodadura deben presentar perfiles ranurados o rebajes de mínimo 1 mm de profundidad.

Los turismos y vehículos con un peso máximo admisible no superior a 2,8 t y una velocidad máxima, por el tipo de vehículo, mayor de 40 km/h, y sus remolques, deben ir equipados únicamente con neumáticos diagonales o radiales; en los vehículos compuestos esto rige sólo para el vehículo aislado en cada caso. No es de aplicación a remolques detrás de vehículos que no puedan circular a más de 25 km/h.

Cristales y limpiaparabrisas
(§ 40 StVZO)
La totalidad de los cristales - excluyendo los espejos y los de las instalaciones de alumbrado e instrumentos - deben ser de cristal de seguridad, cuyos pequeños fragmentos en la rotura no puedan ocasionar heridas graves. El cristal de seguridad es de homologación obligatoria según § 22 a StVZO.

Los parabrisas deben ir provistos de limpiaparabrisas autopropulsados, que permitan un campo de visión suficiente para el conductor. El equipo con instalación de lavaparabrisas no es obligatorio, pero es normal.

Frenos (§ 41 StVZO)
Véase Equipo de frenos, en página 612.

Carga de remolque detrás de vehículos
(§ 42 StVZO)
La carga de remolque arrastrada por motocicletas, turismos y camiones no puede exceder el peso máximo autorizado del vehículo de tracción —en camiones con remolque, con instalación unitaria de frenos para todo el vehículo, y en vehículos todo terreno hasta 1,5 veces el peso total admitido— ni el valor indicado por el fabricante. En turismos el peso total real del remolque (carga sobre el eje y carga de apoyo) en ningún caso debe ser ≥ 3,5 t.

Los remolques, de un eje para turismos, sin frenos suficientes o sin frenos propios, sólo pueden ser arrastrados por vehículos con frenos en las cuatro ruedas. Esto no es de aplicación a otros vehículos de tracción.

Los remolques de un solo eje, sin frenos propios, pueden pesar con carga, como máximo, la mitad del peso en vacío del vehículo tractor más 75 kg, pero nunca ≥ 750 kg.

Dispositivos de apoyo y carga sobre apoyos
(§ 44 StVZO)
Los remolques de un eje deben tener un dispositivo de apoyo graduable en altura, si la carga sobre apoyos asciende ≥ 50 kg. Esto es de aplicación a los remolques detrás de vehículos que ya dispongan de sistemas de elevación autopropulsados.

En los remolques de turismos, de un solo eje, la carga sobre apoyo mínima que debe absorber el vehículo tractor no puede ser menos que el 4% de la carga del remolque dado, pero no superior a 25 kg. No se pueden sobrepasar las cargas sobre apoyos admisibles ni las que existen sobre el acoplamiento del remolque y el dispositivo de tracción indicadas por el fabricante del vehículo tractor. Se debe indicar en lugar bien visible la carga sobre apoyos, tanto en el vehículo tractor como en el remolque. Las prescripciones son válidas también para remolques de dos ejes con distancia entre ejes < 1 m.

Depósitos de combustible
(§ 45 StVZO)
Los depósitos de combustible deben ser resistentes a la corrosión y estancos a una presión doble que la de servicio. Las sobrepresiones que se presenten deben descargarse automáticamente por medio de aberturas apropiadas, válvulas de seguridad o sistemas similares. El combustible no debe poder derramarse por el tapón de llenado ni los dispositivos igualadores de presión, en posición inclinada, ni circulando en curvas, ni a causa de los baches.

Los depósitos de combustible deben quedar separados del motor de forma que ni en caso de accidentes pueda esperarse que ocurra un incendio. No rige para motocicletas ni vehículos tractores con asiento del conductor a la intemperie.

En los autobuses, los depósitos de combustible no pueden estar ni en el habitáculo de los pasajeros ni en el del conductor y en caso de incendio no deben quedar amenazadas directamente las salidas. Debe estar a un lado o bajo el piso a una distancia mínima ≥ 0,5 m de las aberturas de las puertas. Si esta medida no puede cumplirse, hay que apantallar la parte correspondiente del depósito con una pared de chapa, con excepción de su parte inferior.

Tuberías de combustible
(§ 46 StVZO)
Las tuberías de combustible no deben ser influenciadas negativamente por movimientos del motor, ni por la articulación del vehículo, ni por causas parecidas.

Corno tuberías de combustible se pueden instalar mangueras metálicas, elásticas, estancas y sin juntas, o bien de materiales incombustibles y resistentes al combustible, y deben estar protegidas contra daños mecánicos.

Todas las partes que conducen combustible deben estar protegidas contra el calor y dispuestas de tal manera que el combustible que gotee o se evapore no pueda acumularse o ir a parar a partes calientes o aparatos eléctricos donde pudiera inflamarse.

En los omnibuses, las tuberías del combustible no deben estar ni en el habitáculo de los pasajeros ni en el espacio del conductor, y el combustible no puede ser transportado por gravedad, ni por sobrepresión dentro del depósito de combustible.

Gases de escape
(§ 47 StVZO)
Las normas determinantes para la concesión del permiso de circulación están reguladas por las directivas de la CE integradas en la StVZO. Para turismos y camiones ligeros es importante la directiva 70/220/CEE con modificación.

A. Turismos con 6 o menos asientos y un peso total admisible (PMA) = 2,5 t y con concesión del permiso de circulación posterior al 1.1.1995, deben cumplir plenamente, es decir sin excepción de transición, la directiva de modificación 93/59/CEE (idéntica, para estos turismos, con la 91/441/CEE).
A partir de permisos de circulación del 1.1.1997, estos vehículos deben cumplir la directiva de modificación 94/12/CE con valores reducidos de gases de escape. Para ello se realizan las siguientes comprobaciones particulares:
Ensayo tipo I: Ciclo de conducción parte I y parte II,
Ensayo tipo III: Emisiones de gases del cárter del cigüeñal (sólo motor Otto),
Ensayo tipo IV: emisiones por evaporación (sólo motor Otto) y
Ensayo tipo V: durabilidad.

B. Los turismos con 6 o más asientos o con PMA > 2,5 t así como también los camiones ligeros con permiso de circulación posterior al 1.10.1994 deben cumplir la directiva de modificación 93/59/CEE. La directiva de modificación 94/12/CE no aporta prescripciones nuevas para este tipo de vehículos. Para ello se realizan las siguientes comprobaciones individuales:
Ensayo tipo I: Ciclo de conducción parte I y parte II, si PMA = 3,5 t. Los vehículos se dividen en tres clases (I, II y III), según sea su peso en vacío. Para las clases II y III se prevén límites más altos.
Ensayo tipo II: Emisiones de monóxido de carbono al ralentí, mientras PMA > 3,5 t (sólo motor Otto).
Ensayo tipo III: Emisiones de gases del cárter de levas (sólo motor Otto).
Ensayo tipo IV: Emisiones por evaporación, si PMA = 3,5 t (sólo motor Otto).

Observaciones: para los vehículos citados en "B" con motor diesel de inyección directa, pueden aplicarse valores para el ensayo de tipo I, si su primer permiso de circulación fue anterior al 1.10.1995.
Para camiones ligeros con PMA = 3,5 t y motor diesel, se anulan los ensayos según directiva 70/220/CEE, si fueron comprobados según la directiva 72/306/CEE.
Los vehículos con motor diesel siempre deben cumplir además la directiva 72/306/CEE.

C. Los vehículos industriales pesados (vehículos con PMA > 3,5 t) y con motor diesel, deben cumplir las siguientes directivas:
– 72/306(CEE y
– 88/77/CEE, entrada en vigor en dos fases:
Fase A ("Euro 1") para permisos posteriores al 1.10.1993 y
Fase B ("Euro 2") para permisos posteriores al 1.10.1995, con valores límite más estrictos.

D. Las motos > 50 cm³ y > 50 km/h a partir de permisos posteriores al 1.7.1994 (mientras no sean vehículos de existencias: a partir del 1.7.1995) deben cumplir la prescripción sobre gases de escape ECE-R40 con la modificación 01.
Las motos ≤ 50 cm³ y ≤ 50 km/h se rigen por la ECE-R47, si su permiso es posterior al 1.1.1998.

Comprobación de los gases de escape (AU)

(§ 47 a y anexo VIII a StVZO)
Los vehículos con motor Otto (si ≥ 4 ruedas, PMA ≥ 400 kg, ≥ 50 km/h y a partir del 1.7.1969 de su participación en el tráfico) o con motor diesel (si ≥ 4 ruedas, > 25 km/h y en el tráfico después del 1.7. 1977) deben realizar la comprobación de los gases de escape (AU) a periodos de tiempo regulares. Excepción son las máquinas tractoras agrícolas y forestales y los aperos automotores. Los periodos de tiempo entre las comprobaciones normalmente son idénticos a los de las inspecciones principales (§ 29 StVZO), no obstante los vehículo con motor Otto sin catalizador o con "catalizador sin regulación" continúan teniendo la obligación de acudir anualmente a la AU.

Aparte de los datos de ajuste del motor, se miden y comprueban, p.ej. en vehículos con motor Otto, el catalizador y la regulación lambda de la preparación de la mezcla, el contenido de CO al ralentí y ralentí incrementado, y el índice de aire Lambda así como también el funcionamiento del circuito de regulación. En vehículos con motor diesel se mide el enturbiamiento por particulado sólido (partículas de hollín).

Una AU realizada con éxito se acredita por un distintivo hexagonal colocado en la placa de matrícula delantera y el certificado de comprobación AU.

Valores límite para la emisión de ruido de los vehículos en marcha

Grupos de vehículos	dB(A)	
1. Vehículos para el transporte de personas con máximo de 9 asientos incl. el del conductor	77[1]	74[1][2]
2. Vehículos para el transporte de personas con más de 9 asientos, incl. el del conductor y vehículos para el transporte de mercancías: – PMA ≤ 2 t – PMA > 2 y < 3,5 t	78[1]	76[1][2]
3. Vehículos para el transporte de personas con más de 9 asientos, incl. el del conductor, con un PMA superior a 3,5 t: – potencia del motor menor que 150 kW – potencia del motor igual o menor que 150 kW	80 83	78[2] 80[2]
4. Vehículos para el transporte de mercancías con PMA superior a 3,5 t: – potencia de motor inferior a 75 kW – potencia de motor igual o mayor que 75 kW e inferior a 150 kW – potencia de motor igual o mayor que 150 kW	81 83 84	77[2] 78[2] 80[2]
Para los grupos de vehículos 1 a 4: en vehículos todo terreno con PMA superior a 2 t rige: – con potencia de motor inferior a 150 kW valor límite – con potencia de motor igual o mayor que 150 kW valor límite	+1 +2	
5. Máquinas de tracción agrícolas y forestales y aperos: – peso en vacío igual o inferior o 1,5 t – peso en vacío superior a 1,5 t	85 89	
6. Motos igual o inferior a 80 cm³ por primera vez en el tráfico después del 31.12.1995 superior a 80 cm³ e inferior a 175 cm³ por primera vez en el tráfico después del 31.12.1966 superior a 175 cm³ por primera vez en el tráfico después del 31.10.1995	77 75 79 77 82 80	
7. Motos ligeras	75	
8. Bicicletas con motor auxiliar – con una velocidad máxima nominal superior a 25 km/h – con velocidad nominal inferior a 25 km/h	72 70	

(1) Más 1 dB(A) para motores diesel con inyección directa y determinados turismos deportivos.
(2) Estos valores rigen para automóviles incorporados al tráfico después del 1.10.1996.

Emisiones de ruidos

(§ 49 StVZO)
Los vehículos y remolques no deben emitir más ruidos que los inevitables según el último nivel de la tecnología. Las directivas de la CE correspondientes contienen procedimientos de medición y valores límite para las emisiones de ruidos y son obligatorios para los siguientes vehículos:

– 70/157/CEE para vehículos de transporte de mercancías o personas,
– 74/151/CEE para máquinas de tracción agrícolas y forestales,
– 78/1015/CEE y anexo XX StVZO para motos. Para vehículos de emisiones reducidas de ruidos, son determinantes los anexos XIV, XV y XXI StVZO.
– Anexo XXI StVZO para vehículos de emisiones reducidas de ruidos,
– Anexo XV StVZO distintivos para vehículos de emisiones reducidas de ruidos.

Si existen fundamentos para suponer que la emisión de ruidos por el vehículo rebasa esa medida, el conductor está obligado por la ley a hacer que se compruebe la emisión de ruidos con un aparato de medición; no obstante, sólo cuando el puesto de medición está situado a menos de 6 km de distancia. Los gastos de la medición los paga el dueño del vehículo si se confirma un valor superior al valor límite.

Instalaciones luminotécnicas

(§ 49 a StVZO) Véase la página 700.

Dispositivos de señalización acústica

(§ 55 StVZO)
Los vehículos deben poseer como mínimo un dispositivo para la emisión de señales acústicas, que llamen la atención a los participantes en el tráfico en peligro, sin asustarlos ni molestar a los demás más de lo inevitable. Si existen varias instalaciones, sólo se puede accionar una en cada caso sin que se produzca una serie de tonos de distinta frecuencia fundamental. Las bocinas y los cláxones deben producir un sonido limpio con una frecuencia fundamental constante (también con acorde armónico). A 7 m de distancia del lugar de producción en el vehículo y a una altura sobre la calzada de 500 mm a 1500 mm, la intensidad del sonido no debe sobrepasar en ningún caso los 105 dB(A).

Los dispositivos de aviso o alarmas con una sucesión de tonos altos sólo pueden instalarse en vehículos de autoridades y de utilización para casos de emergencia.

Supresión de interferencias en transmisiones de radio y televisión

(§ 55 a StVZO)
Las instalaciones de encendido de motores Otto en los vehículos deben ir con antiparásitos. Esta norma se cumple si se hace según DIN 57879, parte 1ª/VDE 0879 parte 1/6.79. Las piezas integradas en la parte de alta tensión deben tener el distintivo de protección de interferencias.

Espejos retrovisores

(§ 56 StVZO)
Los vehículos deben llevar espejos retrovisores que permitan al conductor la observación que le interesa de la marcha del tráfico detrás de él. Son obligatorios:

1. en motos ≤ 100 km/h, incluyendo scooters: un espejo retrovisor en el lado izquierdo,
2. en motos > 100 km/h: dos espejos retrovisores (uno en el lado izquierdo y otro en el derecho).
3. En general para vehículos:
– un espejo exterior izquierdo y
– un espejo interior, o bien, si éste ofrece demasiado poca visibilidad,
– un espejo exterior derecho.
4. Adicionalmente, para vehículos industriales pesados > 7,5 t:
– un retrovisor panorámico derecho y
– un retrovisor de puesta en marcha derecho a una altura ≥ 2 m.

Los espejos retrovisores no son obligatorios para los vehículos con velocidad nominal inferior a 25 km/h y de asiento de conductor a la intemperie. Los retrovisores de vehículos con más de una vía de ruedas deben corresponder a la directiva 71/127/CEE.

Velocímetro y cuentakilómetros

(§ 57 StVZO)
En vehículos de más de una vía de ruedas con una velocidad máxima nominal superior a 30 km/h, así como también las motos y scooters deben ir provistos de un velocímetro montado dentro del campo de visibilidad del conductor que pueda ir combinado con un contador de kilóme-

tros recorridos. El velocímetro debe indicar la velocidad en km/h y corresponder a la directiva 75/443/CEE, anexo II.

Registrador de viaje y aparato de control
(§ 57a StVZO)
Con registrador de viaje (tacógrafo) contrastable deben equiparse:

1. Los vehículos con un PMA ≥ 3,5 t.
2. Las máquinas tractoras con una potencia de motor ≥ 40 kW, si no se utilizan exclusivamente para fines agrícolas y forestales.
3. Los vehículos para el transporte de personas, con ≥ 8 plazas de pasajeros.

Esto no es de aplicación a los vehículos con velocidad nominal igual o inferior a 40 km/h ni tampoco para vehículos militares, de bomberos o de protección civil, ni para los vehículos equipados con aparato de control según la prescripción (CEE) N° 3821/85. El equipamiento con un aparato de control CE se prescribe en transportes profesionales de mercancías, cuando el PMA solo o incluyendo el PMA del remolque excedan las 3,5 t, así como también para autobuses en el tráfico ocasional.

Las excepciones del equipamiento obligatorio con aparato de control CE o del tacógrafo se enuncian en la regulación (CEE) N° 3820/85, arts. 4 y 14 y en las disposiciones de personal de transporte § 7.

El aparato de control y el registrador de viaje deben estar permanentemente conectados durante el servicio y registrar también los tiempos de parada; todas las transmisiones deben estar precintadas.

Los tacógrafos y el aparato de control deben comprobarse después del cambio de neumáticos, si no cada dos años, por personal autorizado y equipados con una placa de montaje, según § 57 b StVZO.

Limitadores de velocidad
(§ 57 c StVZO)
Los autobuses con un PMA > 10 t así como también los camiones y semirremolques, con un PMA en cada caso > 12 t, deben estar equipados con un limitador de velocidad según la directiva 92/94/CEE, si obtuvieron el permiso de circulación después del 1.1.1994. Los mismos vehículos con permisos de circulación posteriores al 1.1.1988 pero anteriores al 1.1.1994 deben estar equipados así antes de fin de año de 1995. La velocidad máxima a ajustar es de 100 km/h en autobuses y de 85 km/h en camiones y semirremolques.

Los limitadores de velocidad, según § 57 d StVZO, deben ser comprobados por servicios autorizados después de su montaje y después del cambio de neumáticos; al propietario del vehículo se le expide un certificado según § 57 d StVZO.

Forma y montaje de las matrículas
(§ 60 StVZO)
Deben indicarse los signos de distinción y los números de las matrículas con color negro sobre fondo blanco; en los vehículos exentos de impuestos, son verdes con fondo blanco.

Las matrículas no pueden ser reflectantes como espejos ni estar tapadas ni sucias y en caso de nueva ejecución deben ser con efecto catadióptrico; las matrículas existentes se pueden seguir usando.

La matrícula trasera puede estar inclinada con un ángulo de hasta 30° respecto a la dirección de marcha; en el caso de paredes exteriores inclinadas, en lugar de la matrícula delantera y la trasera se pueden colocar 2 matrículas, una a cada lado, en ambos extremos del vehículo.

Las matrículas deben poderse leer por delante y por detrás del vehículo desde un ángulo de hasta 30° respecto al eje longitudinal del vehículo.

En todos los vehículos, excepto en las carretillas eléctricas y sus remolques, el borde inferior de la matrícula delantera no puede quedar a menos de 200 mm por encima de la calzada, y el de la matrícula trasera a menos de 300 mm de la misma. En los scooters a no menos de 200 mm. Las matrículas no deben reducir la altura libre sobre el suelo.

Las matrículas traseras deben llevar un dispositivo de iluminación que permita la lectura de toda la matrícula, según la categoría del vehículo, a 20 o 25 m.

Además de la matrícula se puede colocar la señal de la nacionalidad. No pueden colocarse en los vehículos ni en sus remolques ningún otro equipo que pueda dar lugar a confusión con las matrículas.

Bajo demanda se suministra un distintivo europeo con el campo azul a la izquierda pero de momento no es obligatorio por ley.

Medidas de las matrículas

Tipo de vehículo	Medida máx. long. x anch. mm x mm
Motocicletas ligeras, sin limitación de velocidad, carretillas eléctricas hasta 20 km/h, tractores agrícolas hasta 30 km/h, remolques correspondientes	130 x 240
Otras motocicletas, vehículos muy pequeños	200 x 280
Otros vehículos y remolques	110 x 520 ó 200 x 340
Motocicletas peq. de hasta 50 km/h, bicicletas con motor auxiliar, sillas de ruedas para enfermos, motorizadas	
– Matrículas del seguro	130 x 105,5
– Matrícula oficial (si el propietario está exento de la obligatoriedad del seguro)	116 x 140

Bicicletas con motor auxiliar, motos pequeñas, motos ligeras y motos
1. Velomotor: ≤ 50 cm³ y $n \leq$ 4.800 min⁻¹, ≤ 25 km/h, pedales, de un asiento, faros con luz de cruce permanente 15 W (debe estar encendida también de día), timbre de sonido alto, un espejo retrovisor izquierdo, sin permiso de conducir, suficiente certificado de examen para velomotor, casco obligatorio.
2. Velomotor ligero: como 1. con las excepciones de ≤ 30 cm³ y ≤ 20 km/h, características de bicicleta, casco no obligatorio.
3. Moto pequeña (Mokick) y bicicleta con motor auxiliar (Moped): ≤ 50 cm³, ≤ 50 km/h, de uno o dos asientos, faros para luz de cruce y de carretera (si el suministro de corriente no es suficiente, se permite luz de cruce permanente de 15 W), desplazamientos diurnos solo con luz de cruce, suficiente un espejo retrovisor izquierdo, bocina, luz de freno e indicador de giro no obligatorios, pero permitidos. Permiso de conducir clase 4 (clase 5, si otorgado antes del 1.4.1980).
4. Moto ligera distinta de 3 en ≤ 80 cm³ y ≤ 80 km/h, obligatorios faros para luz de cruce y de carretera y luz de freno. Permiso de conducir clase 1 b (o bien clases 3 o 4, si otorgados antes del 1.4.1980).
5. Moto, en desviación de 3. y 4.: obligatorio indicador de giro, retrovisor izquierdo (y derecho si > 100 km/h), permiso de conducir 1 b, si ≤ 20 kW y una relación entre potencia y peso en vacío ≤ 0,16 kW/kg, si no permiso de conducir de clase 1. Permiso de circulación con documentación del vehículo y del propietario.

Sólo los remolques detrás de bicicletas con motor auxiliar son considerados igual que los remolques de bicicletas, mientras la velocidad máxima nominal del vehículo tractor no sea > 25 km/h, p.ej. velomotor. Para remolques en otras motos se requiere un permiso de circulación.

Alfabetos y números

Alfabeto alemán

Gótico

𝔄	𝔞	a	𝔍	𝔧	j	𝔖	ſ 𝔰	s
𝔅	𝔟	b	𝔎	𝔨	k	𝔗	𝔱	t
ℭ	𝔠	c	𝔏	𝔩	l	𝔘	𝔲	u
𝔇	𝔡	d	𝔐	𝔪	m	𝔙	𝔳	v
𝔈	𝔢	e	𝔑	𝔫	n	𝔚	𝔴	w
𝔉	𝔣	f	𝔒	𝔬	o	𝔛	𝔵	x
𝔊	𝔤	g	𝔓	𝔭	p	𝔜	𝔶	y
ℌ	𝔥	h	𝔔	𝔮	q	ℨ	𝔷	z
ℑ	𝔦	i	ℜ	𝔯	r			

Alfabeto con palabras de deletreo

	Alemán	Internacional	Mensaje radio
A	Anton	Amsterdam	Alfa
Ä	Ärger	–	–
B	Berta	Baltimore	Bravo
C	Cäsar	Casablanca	Charlie
CH	Charlotte	–	–
D	Dora	Danmark	Delta
E	Emil	Edison	Echo
F	Friedrich	Florida	Foxtrot
G	Gustav	Gallipoli	Golf
H	Heinrich	Habana	Hotel
I	Ida	Italia	India
J	Julius	Jerusalem	Juliett
K	Kaufmann	Kilogramm	Kilo
L	Ludwig	Liverpool	Lima
M	Martha	Madagaskar	Mike
N	Nordpol	New York	November
O	Otto	Oslo	Oscar
Ö			
P	Paula	Paris	Papa
Q	Quelle	Quebec	Quebec
R	Richard	Roma	Romeo
S	Samuel	Santiago	Sierra
Sch	Schule	–	–
T	Theodor	Tripolis	Tango
U	Ulrich	Uppsala	Uniform
Ü			
V	Viktor	Valencia	Victor
W	Wilhelm	Washington	Whiskey
X	Xanthippe	Xanthippe	X-Ray
Y	Ypsilon	Yokohama	Yankee
Z	Zeppelin	Zürich	Zulu

Alfabeto griego

Forma		Nombre	Forma		Nombre
Α	α	Alfa	Ν	ν	Ny
Β	β	Beta	Ξ	ξ	Xi
Γ	γ	Gamma	Ο	ο	Omicron
Δ	δ	Delta	Π	π	Pi
Ε	ε	Epsilon	Ρ	ρ	Rho
Ζ	ζ	Zeta	Σ	σ	Sigma
Η	η	Eta	Τ	τ	Tau
Θ	θ	Theta	Υ	υ	Ypsilon
Ι	ι	Jota	Φ	φ	Fi
Κ	χ	Kappa	Χ	χ	Chi
Λ	λ	Lambda	Ψ	ψ	Psi
Μ	μ	My	Ω	ω	Omega

Alfabeto ruso

Forma		Pronunciación	Forma		Pronunciación
А	а	a	Р	р	r
Б	б	b	С	с	ss
В	в	v	Т	т	t
Г	г	gue	У	у	u
Д	д	d	Ф	ф	f
Е	е	e	Х	х	j
Ё	ё	ió	Ц	ц	ts
Ж	ж	gé (blanda)	Ч	ч	ch
З	з	ds	Ш	ш	sch (dura)
И	и	i	Щ	щ	x
Й	й	i	Ъ	ъ	signo fuerte
К	к	k	Ы	ы	ü
Л	л	l	Ь	ь	signo débil
М	м	m	Э	э	ä
Н	н	n	Ю	ю	yu
О	о	o	Я	я	ya
П	п	p			

Números romanos

I	1	XXX	30
II	2	XL	40
III	3	L	50
IV	4	LX	60
V	5	LXX	70
VI	6	LXXX	80
VII	7	XC	90
VIII	8	C	100
IX	9	CC	200
X	10	CD	400
XI	11	D	500
XX	20	DC	600
XXI	21	M	1000
XXIX	29	MVM	1995

Índice alfabético

A

B

C

D

E

F

M

S

T

U